

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS.
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA.
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS.

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA CINÉTICA QUÍMICA DO TRATAMENTO DAS
FRAÇÕES PESADAS DO PETRÓLEO.**

Autor : EVERTON MORAES MATOS.

Orientador : Prof. Dr. REGINALDO GUIRARDELLO. *OK*

Dissertação de Mestrado submetida à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química de Campinas - UNICAMP como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA.

Campinas - SP - Brasil

Agosto - 1997

M428m

32123/BC

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS.

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS.

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA CINÉTICA QUÍMICA DO TRATAMENTO DAS
FRAÇÕES PESADAS DO PETRÓLEO**

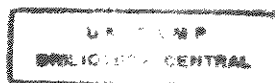
Autor: Everton Moraes Matos.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Guirardello.

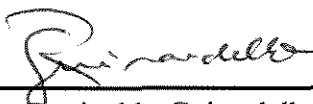
Dissertação de Mestrado submetida à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química de Campinas - UNICAMP como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA.

Campinas - SP - Brasil

Agosto - 1997



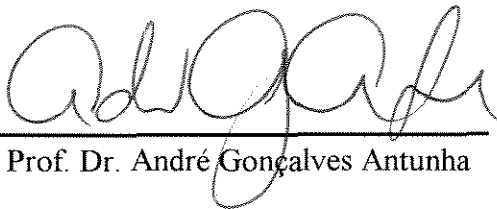
Dissertação defendida e aprovada em 15 de agosto de 1997 pela banca examinadora constituída pelos professores :



Prof. Dr. Reginaldo Guirardello

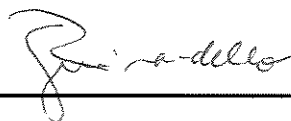


Prof. Dr. José Roberto Núñez



Prof. Dr. André Gonçalves Antunha

Esta versão corresponde à redação final da dissertação de mestrado defendida pelo Engenheiro Químico Everton Moraes Matos e aprovada pela comissão julgadora em 15 de agosto de 1997.

A handwritten signature in black ink, reading "Reginaldo", written above a horizontal line.

Prof. Dr. Reginaldo Guirardello

> DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por todas as oportunidades que me proporcionaram.

A minha noiva, pelas muitas horas que lhe foram roubadas.

A todos aqueles que em suas épocas, por suas idéias brilhantes,
foram chamados de loucos, muitas vezes de vida pouco prática,
espírito desprendido da vaidade humana
e que quase sempre morriam pobres.
Pois em seus ombros hoje nos apoiamos para ver mais longe.

> AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo Prof. Reginaldo Guirardello que me ajudou a desenvolver este trabalho.

A CAPES, FAPESP e PETROBRÁS pelos seus apoios financeiros..

> RESUMO

Este trabalho representa um esforço no sentido de modelar e simular a cinética química que ocorre no tratamento das frações mais pesadas do petróleo, visando produzir produtos de maior valor comercial a partir deste material.

A cinética, que inclui reações de craqueamento térmico, hidrodessulfurização, hidrogenitrogenação, hidrodemetalização e hidrodeoxigenação, as últimas quatro catalíticas, foi estudada como ocorrendo em dois sistemas clássicos, o CSTR ideal em multi estágios e o PFR com dispersão axial.

A fim de visualizar o comportamento do sistema foram feitas simulações, com dados arbitrários, onde a velocidade do fluxo, o comprimento do reator e o número de Peclet foram variados um de cada vez mantendo os outros dois constantes.

As reações de hidrocraqueamento foram modeladas como térmicas, as reações de hidrogenitrogenação e hidrodeoxigenação são catalíticas, embora não controladas por difusão. As reações de hidrodemetalização e hidrodessulfurização foram modeladas como catalíticas controladas por difusão, sendo a efetividade variável com o tempo uma vez que o processo de hidrodemetalização causa a gradual obstrução dos poros do catalisador.

A fim de efetuar a simulação real do sistema, dados experimentais pertinentes às frações pesadas do petróleo são ainda necessários.

Resultados gerados pelos modelos de cstr's em série e pfr com dispersão axial apresentaram boa concordância em uma situação limite onde deveriam ser iguais, atestando a eficiência dos modelos e o sucesso dos simuladores desenvolvidos.

> ABSTRACT

This work is an effort to model and simulate the chemical kinetic that occurs in the treatment of the heavy fractions of petroleum to produce more valuable materials from it.

The kinetic, that include thermal cracking, hydrodesulphurisation, hydrodenitrification, hydrodemetallation and hydrodeoxygenation, the last four catalytic, were studied as occurring in two classic systems, a series of ideal CSTR's and the PFR with axial dispersion.

In order to visualise the behaviour of the system, simulations were carried out with arbitrary data, where the speed of the fluid, the length of the reactor and the Peclet number was varied one at a time keeping the other two constants.

The hidrocraking reactions were modeled as thermic, the reactions of hidridenitrogenation and hidrodeoxygenation as catalitic, however, not controled by difision, the hidrodemetalization and hidrodesulfurization were modeled as catalityc and controled by difusion, whit the efectiviness factor changing whit time because the hidrodemetalization caused a gradual obstruction of the pores of the catalyst.

In order to do a real simulation of the system, real experimental data pertinent to heavy fractions of the petroleum are still needed.

Results originate from the models we worked gave to us a good agreement in a limit situation where the results shoud be equal. This fact attest the efectiviness of the models and the success of the simulators that were built.

ÍNDICE

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Nomeclatura.....	viii
Lista de tabelas.....	ix
Lista de figuras.....	x

Capítulo - 1

1.1 - O petróleo.....	1
1.2 - O Craqueamento térmico.....	3
1.3 - O problema dos Sulfurados.....	4
1.4 - O problema dos Nitrogenados.....	8
1.5 - O problema dos Oxigenados.....	11
1.6 - O problema dos Organometálicos.....	14
1.7 - Comportamento Cinético Experimental.....	18
1.8 - Rede de hidrocraqueamento.....	22

Capítulo - 2

2.1 - Modelagem segundo uma série de cstr's ideais.....	25
2.2 - Hidrocraqueamento.....	26
2.3 - Hidrodenitrogenação.....	28
2.4 - Hidrodesoxigenação.....	28

Capítulo - 3

3.1 - Modelagem segundo modelo de PFR com dispersão axial.....	29
3.2 - Hidrocraqueamento.....	33
3.3 - Hidrodenitrogenação e Hidrodeoxigenação.....	34
3.4 - Adimensionalizando.....	34

Capítulo - 4

4.1 - Resolução dos modelos propostos.....	39
4.2 - Análise dimensional.....	44
4.3 - Reações controladas por difusão em pfr com dispersão axial.....	45
4.4 - Reações controladas por difusão em estr.....	47
4.41 - Volume de fluido puro em um leito.....	49
4.5 - Correlações utilizadas.....	50
4.6 - O problema da efetividade do catalisador.....	51
4.7 - O caso do enxofre.....	59

Capítulo - 5

5.1 - Teste do modelo para os pseudo componentes.....	63
5.2 - Simulação para o hidrocraqueamento térmico.....	77
5.21 - Variação da velocidade.....	79
5.22 - Variação do comprimento do reator.....	83
5.23 - Variação do número de Peclet.....	87
5.3 - Simulação dos processos de retirada de heteroátomos.....	92

Capítulo - 6

Conclusão.....107

6.1 - Sugestão para futuros trabalhos.....107

6.2 - Dados necessários à simulação real.....108

Referências bibliográficas.....109

APÊNDICE

Tabela de características gerais da Hidroconversão.....111

Métodos de análise do Resíduo.....112

Listagem dos programas de simulação.....113

NOMECLATURA :

L	Comprimento total do reator tubular
V	Volume do reator
W	Massa de catalisador no leito
A_S	Concentração de A no catalisador
A_L	Concentração de A no líquido.
k_{1s}	Coefficiente de transferência de massa
a_{1s}	Área volumétrica característica do catalisador
k_i	Constante cinética $i = 1, 2, 3 \dots$
Pe	Número de Peclet
F	Vazão volumétrica
U	Velocidade média no interior do reator
A_c	Área de secção reta do reator tubular
z	Medida da coordenada axial no reator tubular
D_x	Difusividade da molécula x no residuo.
η	Efetividade do catalisador
r_M	Raio dos macroporos (Ang.)
r_m	Raio dos microporos (Ang.)
ε_M	Porosidade dos macroporos
ε_m	Porosidade dos microporos.
r_{mol}	Raio da molécula
r^o	Raio inicial
L_D	Caminho difusional.
τ	Tortuosidade do catalisador
ρ_x	Densidade de x
μ_x	Viscosidade de x
r_A	Taxa de reação de A
\hat{r}_A	Taxa de reação catalítica de A
$C_x^o \setminus C_{x0}$	Concentração inicial de x
Ψ_x	Concentração adimensional de x
λ	Comprimento adimensional.
$-^{n-1}$	Cstr anterior
$-^n$	Cstr atual

LISTA DE TABELAS :

Tabela 1.1 :	Metais presentes no petróleo.....	16
Tabela 1.2 :	Comparação alimentação/produto do hidrotratamento.....	17
Tabela 5.1 :	Comparação de resultados pfr/cstr com $D_a \rightarrow \infty$	76
Tabela Ap1 :	Características da reações de hidroconversão.....	111

LISTA DE FIGURAS :

Figura 1.01	:	Principais compostos sulfurados do petróleo.....	7
Figura 1.02	:	Principais compostos nitrogenados do petróleo.....	10
Figura 1.03	:	Principais compostos oxigenados do petróleo.....	13
Figura 1.04	:	Molécula de Petroporfirina.....	16
Figura 1.05	:	Cinética de HDN no resíduo Illinois N°6.....	19
Figura 1.06	:	Cinética de HDN no resíduo Black Thunder.....	19
Figura 1.07	:	Cinética de HDS no resíduo Illinois N°6.....	20
Figura 1.08	:	Cinética de HDS no resíduo Black Thunder.....	20
Figura 1.09	:	Cinética de HDO no resíduo Black Thunder.....	21
Figura 1.10	:	Cinética de HDO no resíduo Illinois n 6.....	21
Figura 1.11	:	Rede das reações de hidrocrackeamento.....	22
Figura 1.12	:	Ilustração da retirada de heteroátomos.....	23
Figura 3.01	:	Ilustração do reator tubular sem leito.....	31
Figura 3.02	:	Ilustração do reator tubular com leito.....	31
Figura 3.03	:	Exemplo de perfil de concentração em pfr.....	37
Figura 4.01	:	Partícula plana de catalisador.....	51
Figura 4.02	:	Algoritmo para cálculo da efetividade.....	62
Figura 5.01	:	Comportamento cinético dos aromáticos pesados.....	65
Figura 5.02	:	Comportamento cinético dos aromáticos leves.....	66
Figura 5.03	:	Comportamento cinético dos naftenicos pesados.....	67
Figura 5.04	:	Comportamento cinético dos naftenicos leves.....	68
Figura 5.05	:	Comportamento cinético dos parafinas pesadas.....	69
Figura 5.06	:	Comportamento cinético dos parafinas leves.....	70
Figura 5.07	:	Comportamento cinético dos nitrogenados.....	71
Figura 5.08	:	Comportamento cinético dos oxigenados.....	72
Figura 5.09	:	Comportamento cinético dos organometálicos.....	73
Figura 5.10	:	Comportamento cinético dos sulfurados.....	74
Figura 5.11	:	Efeito da variação da velocidade para aromáticos pesados.....	80
Figura 5.12	:	Efeito da variação da velocidade para aromáticos leves.....	80

Figura 5.13	:	Efeito da variação da velocidade para naftenicos pesados.....	81
Figura 5.14	:	Efeito da variação da velocidade para naftenicos leves.....	81
Figura 5.15	:	Efeito da variação da velocidade para parafinas pesadas.....	82
Figura 5.16	:	Efeito da variação da velocidade para parafinas leves.....	82
Figura 5.17	:	Efeito da variação do comprimento para aromáticos pesados....	84
Figura 5.18	:	Efeito da variação do comprimento para aromáticos leves.....	84
Figura 5.19	:	Efeito da variação do comprimento para naftenicos pesados.....	85
Figura 5.20	:	Efeito da variação do comprimento para naftenicos leves.....	85
Figura 5.21	:	Efeito da variação do comprimento para parafinas pesadas.....	86
Figura 5.22	:	Efeito da variação do comprimento para parafinas leves.....	86
Figura 5.23	:	Efeito da variação do n° de Peclet para aromáticos pesados.....	88
Figura 5.24	:	Efeito da variação do n° de Peclet para aromáticos leves.....	88
Figura 5.25	:	Efeito da variação do n° de Peclet para naftenicos pesados.....	89
Figura 5.26	:	Efeito da variação do n° de Peclet para naftenicos leves.....	89
Figura 5.27	:	Efeito da variação do n° de Peclet para parafinas pesadas.....	90
Figura 5.28	:	Efeito da variação do n° de Peclet para parafinas leves.....	90
Figura 5.29	:	Efeito da variação da densidade do leito para HDN.....	95
Figura 5.30	:	Efeito da variação do comprimento do leito para HDN.....	95
Figura 5.31	:	Efeito da variação da velocidade para HDN.....	96
Figura 5.32	:	Efeito da variação do N° de Peclet para HDN.....	96
Figura 5.33	:	Efeito da variação da densidade do leito para HDO.....	98
Figura 5.34	:	Efeito da variação do comprimento do leito para HDO.....	98
Figura 5.35	:	Efeito da variação da velocidade para HDO.....	99
Figura 5.36	:	Efeito da variação do N° de Peclet para HDO.....	99
Figura 5.37	:	Efeito da variação do tempo na HDM.....	103
Figura 5.38	:	Efeito da variação do tempo na HDS.....	105

CAPÍTULO - 1

O PETRÓLEO E SEUS CONSTITUINTES.

“ Nada de irreal existe. “

- Primeiro principio da metafisica -

1.1 - O PETRÓLEO

Excetuando-se a produção de alimentos e a confecção de vestuário nenhuma indústria orgânica é mais importante para a civilização atual que a indústria do petróleo. Esta indústria fornece matérias primas para a fabricação de plásticos, fertilizantes, borrachas, desinfetantes dentre muitos outros, além da maioria dos combustíveis hoje utilizados. As teorias sobre sua origem são controversas, no entanto existe uma razoável concordância quanto a sua formação estar relacionada com grandes quantidades de matéria orgânica submetida por longos períodos de tempo a ambientes subterrâneos quentes, mediantemente pressurizados e deficientes em oxigênio, resultando em uma complexa mistura formada por centenas de diferentes substâncias químicas, do metano ao asfalto, que podem ser agrupadas segundo suas propriedades como hidrocarbonetos, organometálicos, nitrogenados, oxigenados e compostos sulfurados, onde todos eles se fazem presentes em formas que variam de pequenas moléculas até moléculas de peso molecular além de 5000 u.m.a. A maior percentagem em peso dos constituintes do petróleo é dos hidrocarbonetos, pois experiências comprovam a existência média de 83 a 87 % de carbono e 11 a 15 % de hidrogênio [1].

As centenas de substâncias químicas presentes no petróleo são, há muito tempo, divididas em produtos comercializáveis obtidos pelo fracionamento nas operações de refinação onde são segregados segundo suas faixas de ebulição. Em geral, moléculas dentro de uma razoável faixa de peso molecular e com relações de C/H próximas às de hidrocarbonetos são comercialmente muito mais valiosas que moléculas demasiadamente grandes e que contém heteroátomos. Por este motivo é necessário quebrar as grandes moléculas do petróleo produzindo moléculas de maior valor comercial. Esta quebra se chama craqueamento, que pode ser térmico, onde as ligações químicas são quebradas pela exposição da espécie a um ambiente de altas temperaturas (400 a 600 ° C), ou catalítico onde a quebra acontece com o auxílio de catalisadores. O craqueamento aumenta o valor comercial do petróleo devido ao aumento da proporção de determinados hidrocarbonetos como gasolina, querosene, gases combustíveis dentre outros. Mesmo submetido a um rigoroso craqueamento e ter aumentada sua proporção de hidrocarbonetos comercializáveis, a presença de átomos de oxigênio, nitrogênio, enxofre e átomos metálicos diminui a qualidade dos produtos do petróleo, pois conferem às moléculas que os contém propriedades não desejáveis como corrosibilidade, formação de precipitados e baixo poder de queima [1].

A remoção de heteroátomos é feita com hidrogênio a altas pressões por ser este um constituinte natural dos óleos, evitando com isto o acréscimo de um contaminante a mais. O fato de ser utilizada altas pressões e temperaturas pode ser indício que os catalisadores envolvidos ainda não atingiram uma eficácia desejada, o que aumentaria a economicidade do processo barateando seus produtos finais [1].

Grandes esforços são efetuados até hoje, e certamente ainda serão no futuro, tanto no sentido de aumentar a percentagem de hidrocarbonetos comercializáveis através do craqueamento como no sentido de retirar os heteroátomos, pois assim os produtos do refino do petróleo e as matérias primas que lhe são pertinentes terão suas qualidades muito melhoradas, o que é altamente desejável, compensando todos os gastos e esforços neste sentido [1].

As frações comumente produzidas pelas refinarias são as seguintes [1]:

Gás natural

Gás liquefeito de petróleo (GLP)

- Destilados Leves :

Gasolinas Automotivas

Naftas

Combustíveis de Avião

Querosene

Óleos Combustíveis Leves

- Destilados Médios :

Óleos Combustíveis Pesados

Óleo Diesel

Gasóleos

- Destilados Pesados :

Óleos Minerais Pesados

Ceras

Óleos Lubrificantes

- Resíduos :

Óleos Lubrificantes Pesados

Óleos Combustíveis Pesados

Óleos Impermeabilizantes

Asfaltos

Coque

1.2 - O CRAQUEAMENTO TÉRMICO

Craqueamento térmico é o fenômeno através do qual as grandes moléculas do petróleo são termicamente decompostas em moléculas menores, de ponto de ebulição mais baixo, ao mesmo tempo em que outras moléculas se combinam para dar origem a novos compostos não presentes na alimentação original. Neste processo é aumentada consideravelmente a proporção de óleos comerciais no petróleo que se formam a partir de resíduos pesados de baixo valor comercial, naturalmente presentes. A composição final dos óleos craqueados depende fortemente da extensão do craqueamento e de suas condições operacionais, usualmente a altas temperaturas (350 a 600 °C) e pressões (50 a 110 atm) [4].

A cinética do hidrocrackeamento pode ser considerada de primeira ordem desde que haja hidrogênio em excesso diluído no óleo, daí a necessidade de altas pressões, o que aumenta sua solubilidade. É observado que a taxa de craqueamento diminui com a redução do peso molecular, a ponto dos compostos possuidores de ponto de ebulição menores que 400K serem praticamente incriqueáveis. Reações de polimerização ocorrem durante o processo, levando a formação de grandes moléculas pesadas, o que é indesejável, no entanto seus efeitos mostram-se normalmente desprezíveis [2].

A necessidade de estudar a cinética de transformação da complexa mistura de substâncias químicas que constitui o petróleo levou ao conceito de pseudocomponentes, que são por definição conglomerados de moléculas que possuem características em comum, seja quanto a sua estrutura molecular , peso molecular ou fase a que pertence sob determinadas condições. Tomando os pseudo componentes com base em sua estrutura molecular torna-se possível compreender a rede de reações químicas que ocorre durante o processo de craqueamento a qualquer temperatura e assim medir as constantes cinéticas envolvidas uma vez que estruturas moleculares semelhantes tendem a reagir de modo semelhante. De posse destas constantes é possível, a princípio, prever a composição de cada pseudocomponente, permitindo cálculos de rendimento, economicidade e otimização [3].

O desenvolvimento do processo de hidrocrackeamento ocorre tanto no sentido de otimização da planta, no que se refere a utilização de ciclos e integração energética, como na busca de catalisadores mais eficientes, capazes de reduzir as duras condições de processamento que encarecem significativamente o processo.

1.3 - O PROBLEMA DOS SULFURADOS

Compostos que contêm enxofre são talvez os mais importantes constituintes do petróleo logo após os hidrocarbonetos. Suas maiores concentrações estão nos resíduos e em outras frações pesadas [6]. Os mais comuns são as mercaptans ($R_1 - SH$), sulfetos ($R_1 - S - R_2$), dissulfetos ($R_1 - S - S - R_2$), polissulfetos ($R_1 - S_n - R_2$), tiofenóis, benzotiofenóis, e seus derivados de radicais alquila [5]. A remoção deste heteroátomo é parte vital do processamento que tenta transformar o óleo cru em produtos finais de alta qualidade, uma vez que seus efeitos são sempre nocivos. A presença de sulfurados em produtos finais do petróleo, tal como a gasolina costumam causar corrosão nos motores, mercaptanas causam corrosão em ligas que contêm cobre e altera a cor de alguns combustíveis líquidos, sulfetos, dissulfetos e os ácidos provenientes da combinação de seus óxidos com a água também são bastante corrosivos, além dos óxidos venenosos que são expelidos no ar quando da queima do combustível. Experiências demonstraram que altos teores de sulfurados em óleos lubrificantes diminui a resistência do óleo contra a oxidação e ainda aumenta a formação de depósitos de materiais sólidos [6]. Os petróleos podem trazer em si até 3.5% em peso de enxofre, enquanto que a legislação ambiental da união européia dita que para combustíveis o teor não deve ultrapassar a 0.05 % em peso. No caso de ônibus e carros em áreas urbanas os limites são de 0.001 e 0.03 % em peso de enxofre respectivamente. Nos países do oeste europeu é tolerado um teor de até 0.3 %. Tais fatores tornam a dessulfurização um grande desafio e um processo a ser ainda muito estudado. A hidrodinâmica dos reatores de dessulfurização ainda não é bem conhecida e um cálculo mais acurado das propriedades termodinâmicas de suas complexas misturas é outro problema [5].

A distribuição dos compostos de enxofre em óleos crus vem sendo estudada desde o final do século passado e graças a esta quantidade de estudos tornou-se possível notar algumas generalidades. Por exemplo, apesar da proporção de sulfurados aumentar com o ponto de ebulição dos óleos crus, na destilação a altas temperaturas ocorre uma decomposição térmica das moléculas sulfurosas de alto peso molecular e neste caso as frações médias vão conter uma proporção de sulfurados maior que as frações mais pesadas. Os tipos de estruturas moleculares que guardam em si átomos de enxofre variam grandemente de acordo com a origem e idade dos petróleos. Quantidades de enxofre em sua forma elementar são comumente encontradas em óleos crus e reagem sem a presença de catalisador a temperaturas relativamente baixas, enquanto que átomos ligados a compostos orgânicos normalmente requerem catalisadores em suas reações e que só ocorrem a

temperaturas relativamente altas. Compostos inorgânicos como gás sulfídrico se fazem presente em vários petróleos. Embora sua origem ainda seja causa de especulações, acredita-se que possa ser originado a partir da ação de bactérias sobre compostos sulfurados. Óleos contendo mais de 1 % de enxofre são frequentemente acompanhados por gases sulfurosos contendo quantidades substanciais de H_2S que é um agente poluente bastante venenoso e que pode causar a morte por asfixia a altas concentrações [6].

Com base nos efeitos prejudiciais causados pela presença de enxofre no petróleo, faz-se necessária sua remoção. O processo de remoção dos átomos de enxofre dos óleos crus através da adição de hidrogênio molecular a altas pressões parciais é chamada de hidrodessulfurização (HDS), cujos produtos são hidrocarbonetos e gás sulfídrico. HDS é considerado o mais importante processo no tratamento do petróleo visando a melhoria da qualidade de seus produtos finais, especialmente quanto à emissão de poluentes para a atmosfera e na diminuição da capacidade corrosiva dos produtos do refino [6].

As reações de HDS dos organossulfurados são exotérmicas e essencialmente irreversíveis sob as condições utilizadas pela indústria para o processo (340-425°C e 55-170atm). Recentemente as pesquisas têm sido direcionadas para a química dos compostos pertencentes à classe dos tiofenóis, uma vez que estes são os constituintes dos petróleos e combustíveis fosseis mais difíceis de dessulfurar. A retirada dos átomos de enxofre pode ocorrer tanto com a prioridade da hidrogenação das ligações duplas dos anéis aromáticos da molécula que contém o heteroátomo, como pela remoção direta do átomo de enxofre por hidrogenólise, sendo este último caminho o que menos consome hidrogênio. O caminho que tem como prioridade a hidrogenação dos anéis possui restrições termodinâmicas, pois sua constante de equilíbrio é afetada desfavoravelmente pelas temperaturas usuais da HDS, enquanto que o caminho que leva à dessulfurização por hidrogenólise pode sofrer inibição a baixas pressões e altas temperaturas devido a baixas concentrações de equilíbrio das espécies produzidas nas reações intermediárias sob estas condições de processamento.

Experiências de HDS efetuadas com vários sulfurados orgânicos vem demonstrando que a cinética deste processo pode ser aproximada por uma cinética de primeira ordem, embora aproximações de segunda ordem também sejam utilizadas, para o pseudocomponente dos sulfurados, além de que, este processo depende fortemente das condições a que é submetido. É observado ainda que a inibição por outros compostos orgânicos é fraca. A principal dificuldade técnica do processo é a dessulfurização dos benzotiofenóis que são reconhecidamente tidos como os mais lentos a serem

convertidos e estão presentes em todos os combustíveis fósseis. Um desafio futuro é encontrar catalisadores que propiciem a dessulfurização em condições mais brandas de processamento e com maiores rendimentos e velocidade [7].

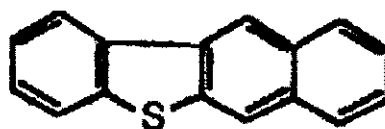
Os catalisadores mais utilizados para HDS são : (CoO e MoO₃) ou (NiO e MoO₃) suportados em alumina. O tratamento de compostos com alto peso molecular é significativamente influenciado pela difusão nos poros do catalisador. O efeito da difusividade de uma molécula de reagente em um solvente dentro de um poro de catalisador de tamanho comparável a ela é menor que a difusividade da mesma molécula em uma solução livre do mesmo solvente. Este problema é conhecido como difusão configuracional e é geralmente atribuído a impedimentos estéricos na entrada do poro e ao efeito das paredes internas do poro . No caso da velocidade de difusão ser lenta em comparação com a velocidade de reação, somente a porção externa do catalisador tenderá a ser utilizada. Por este motivo, o conhecimento do efeito da razão entre o tamanho da molécula reagente e o tamanho do poro na difusividade é de grande importância para a síntese ou escolha de um catalisador apropriado [8]. A dificuldade de se remover o enxofre em leitos catalíticos aumenta na ordem parafinas<naftenos<aromáticos. Observa-se que a taxa global de HDS diminui com o aumento do peso molecular médio da alimentação. Quanto mais simples for o composto detentor do átomo de enxofre mais fácil será sua dessulfurização [6].

Principais Compostos Sulfurados Presentes no Petróleo [6], [7] :

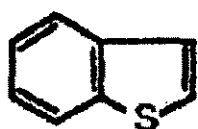
Tiofenol :



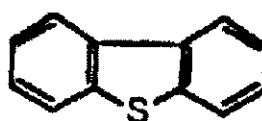
Benzo[b] nafto-tiofenol :



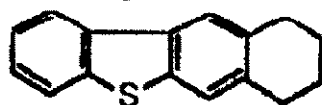
Benzotiofenol :



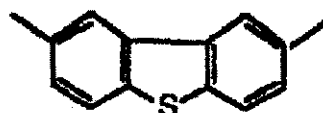
Dibenzotiofenol :



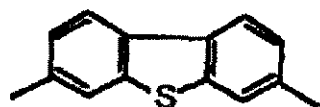
Tetrahidrobenzonaf-tiofenol :



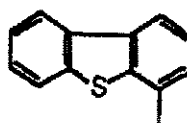
2,8 dimetildibenzo-tiofenol :



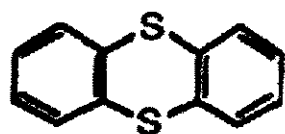
3,7 Dimetildibenzo-tiofenol



4 metildibenzotiofenol :



Tiantreno :



Tetrafeniltiofenol :

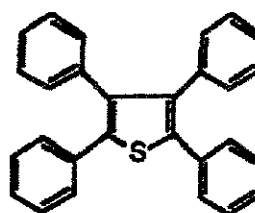


Fig.: 1.1

1.4 - O PROBLEMA DOS NITROGENADOS

Os compostos nitrogenados naturalmente presentes no petróleo se distribuem por toda a faixa de pontos de ebulição da mistura constituinte, sendo que suas maiores concentrações se encontram nas frações mais pesadas. Em geral a quantidade de nitrogênio contida nos petróleos reside entre 0.1 a 0.9 % em peso, sendo que em alguns óleos este número pode chegar a 2 % [6].

A presença de nitrogênio no petróleo é um fator de significante relevância, onde deseja-se a mínima quantidade possível uma vez que compostos nitrogenados são muitas vezes responsáveis pelo envenenamento de catalisadores de craqueamento e contribuem para uma substancial diminuição da qualidade dos combustíveis contaminados, além de produzirem óxidos poluentes em sua queima.

Com base em estudos que provam o efeito prejudicial de nitrogenados em combustíveis, a melhoria da qualidade dos produtos resultantes do refino do petróleo passa necessariamente por um processo de hidrogenitrificação, ou seja, a retirada dos átomos de nitrogênio utilizando hidrogênio em condições de altas pressões e temperaturas [7].

Os compostos nitrogenados são predominantemente heterocíclicos aromáticos; representantes não heterocíclicos estão presentes em menor quantidade, sendo estes últimos denitrogenados muito mais facilmente que os primeiros, por isto os maiores esforços atuam no sentido de conseguir a remoção de nitrogênio nos compostos heterocíclicos. A remoção do nitrogênio em compostos heterocíclicos aromáticos requer em primeiro lugar a hidrogenação do anel que contém o heteroátomo para somente depois ser tentada a hidrogenação da ligação carbono-nitrogênio. As reações são comumente exotérmicas e os catalisadores mais utilizados são os de Níquel-Molibdênio suportado em alumina ($\text{Ni-Mo} / \text{Al}_2\text{O}_3$) e os de Níquel-Tungstênio suportado em alumina ($\text{Ni-W} / \text{Al}_2\text{O}_3$). A superioridade do catalizador de Níquel-Molibdênio reside no fato de que sua capacidade atua principalmente no sentido de facilitar as reações de saturação do anel. A prioridade da hidrogenação do heteroanel é necessária a fim de substituir por uma ligação simples a ligação dupla entre os átomos de carbono e nitrogênio, pois esta última possui uma elevada energia de ligação o que dificultaria em muito a retirada do nitrogênio; enquanto a ligação simples possui uma energia de 73 Kcal/mol, a ligação dupla é da ordem de 147 Kcal/mol, daí a necessidade de saturar o anel o que torna o processo de denitrogenação dependente das reações de hidrogenação no sistema químico considerado. Com base nesta dependência é fácil notar que quanto maior a quantidade de H_2 dissolvida no resíduo maior a taxa de hidrogenação, o que induz a um aumento da taxa de

hidrodenitrogenação (HDN), o que explica a observação experimental de que este processo tem seu rendimento melhorado pelas altas pressões parciais de hidrogênio [7].

Observando o ambiente onde ocorre o processo de HDN podemos notar que sendo o processo exotérmico, mesmo ocorrendo a uma temperatura elevada, o que tende a diminuir a constante de equilíbrio, a taxa resultante da HDN é favorável pelo fato de que a grande pressão parcial do hidrogênio, o que resulta em uma grande solubilidade sua, promove um aumento da taxa no sentido da formação dos produtos. A elevada temperatura é necessária pois no mesmo vaso de reação de HDN é desejável que ocorra o hidrocraqueamento térmico das grandes moléculas do petróleo[7].

Uma vez que compostos heterocíclicos nitrogenados têm de ser hidrogenados para em seguida ter seu nitrogênio retirado, torna-se comum a formação de vários compostos intermediários que não são fáceis de denitrogenar, além do fato de que a própria hidrogenação do heteroanel é trabalhosa de ser realizada devido aos impedimentos estéricos e limitações termodinâmicas no que se refere a estabilidade das estruturas moleculares envolvidas. Por estes motivos o processo de HDN é bastante difícil e bons rendimentos são conseguidos apenas em condições muito severas de operação até que se chegue aos seus produtos finais que são hidrocarbonetos e a amônia[7].

Evidências experimentais demonstram que as taxas de reação de HDN podem ser consideradas como sendo de pseudo primeira ordem no que se refere ao pseudocomponente dos nitrogenados; as reações envolvendo este pseudocomponente são frequentemente vítimas de uma autoinibição, por isto as taxas são menores do que processos como HDS e HDO [7].

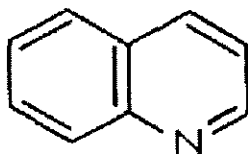
As redes cinéticas da hidrodenitrogenação envolvem várias reações paralelas, outras tantas reversíveis e todas elas envolvendo subprodutos complexos, sendo por isto bastante remota a possibilidade de que este processo seja completamente esclarecido ao nível molecular [7].

Principais Compostos Nitrogenados Presentes no Petróleo [6], [7] :

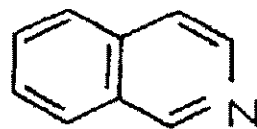
Piridina :



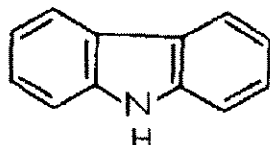
Quinolina :



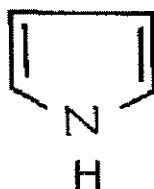
Isoquinolina :



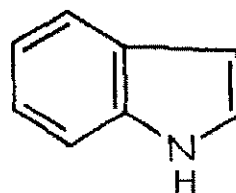
Carbazol :



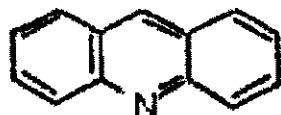
Pyrrolina :



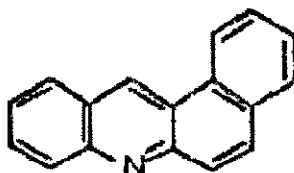
Indolina:



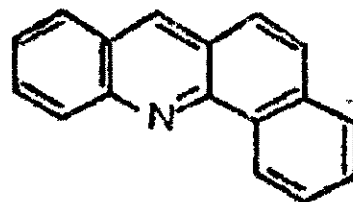
Acridina :



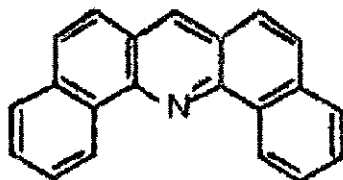
Benz(c)-acridina :



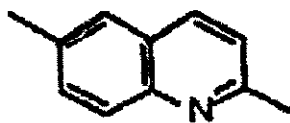
Benz(a)-acridina :



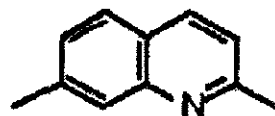
Dibenz(c,h)-acridina :



2,6 Dimethylquinolina :



2,7 Dimethylquinolina :



2,8Dimetilquinolina :

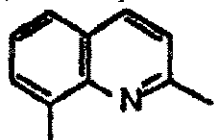


Fig.: 1.2

1.5 - O PROBLEMA DOS OXIGENADOS

Compostos oxigenados podem ocorrer em uma considerável variedade de formas; é observado que os compostos oxigenados mais comuns na natureza são encontrados no petróleo, sendo seu teor usualmente menor que 2 % em peso. As altas quantidades de oxigenados encontradas em alguns petróleos deve-se ao fato destes terem sido expostos ao oxigênio atmosférico tanto durante como após a sua produção. Experimentalmente é comprovado que a concentração de moléculas oxigenadas se eleva com o aumento do ponto de ebulição das frações do óleo; de fato, no resíduo pesado a percentagem em peso de oxigenados pode ultrapassar a marca dos 8 %, de onde podemos deduzir que a maioria do oxigênio contido no petróleo pertence a moléculas de alto peso molecular. A presença de oxigênio no petróleo é a responsável pela existência de ácidos carboxílicos e fenois em sua composição [6].

Relativamente poucos trabalhos tem sido publicados quanto ao estudo da retirada do oxigênio de óleos pesados através da adição de hidrogênio a altas pressões, processo que se chama hidrodeoxigenação HDO, principalmente devido ao fato do teor de oxigênio nos petróleos frequentemente ser consideravelmente menor que os teores de enxofre e nitrogênio, além destes dois últimos serem significativamente mais agressivos à atividade catalítica. Os organoxigenados dividem-se basicamente em duas classes : fenois , naftóis e seus derivados e heterocíclicos oxigenados, que são os furanos e seus derivados; alcoóis, ácidos carboxílicos e cetonas também estão presentes mas em menores quantidades [7].

As reações de hidrodesoxigenação são exotérmicas e virtualmente irreversíveis, embora a hidrogenação das ligações duplas nos oxigenados, que pode ou não preceder a retirada do átomo de oxigênio , seja comumente reversível, a cinética química da HDO pode ser ajustada como sendo de primeira ordem no que se refere ao pseudo componente dos oxigenados. Observa-se que benzofuranos e dibenzofuranos são muito menos reativos que os fenois. Os catalisadores mais empregados são os de Níquel - Molibdênio suportado em alumina (Ni - Mo / Al₂O₃) e o de Cobalto - Molibdênio também suportado em alumina (Co - Mo / Al₂O₃) nas condições de hidrocrackeamento, sendo os catalisadores de Níquel os que apresentam as melhores características de atividade, seletividade, estabilidade e custo. A principal diferença entre os catalisadores de (Ni - Mo) e (Co - Mo) é que o primeiro é mais eficiente no sentido da hidrogenação de ligações duplas, por este motivo costuma ser mais utilizado em processos como HDN, sendo contudo detentor de um fraco poder de hidrogenólise [7].

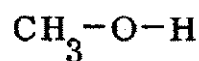
Os estudos referentes ao processo de HDO comprovam que a remoção de oxigênio pode ocorrer de duas formas : através da saturação, por hidrogenação, das ligações duplas presentes por exemplo em anéis benzenicos e em heteroaneis, para em seguida ser quebrada a ligação carbono - oxigênio, ou pela quebra direta da ligação com o heteroátomo, processo conhecido como hidrogenólise. Devido a esta propriedade da HDO busca-se para este processo um catalisador que seja seletivo quanto a esta última etapa para que possa ser reduzido o consumo do caro hidrogênio na unidade. Tal fato tem base na observação de que a HDO pode ser realizada sob altas temperaturas com baixo consumo de H_2 . A autoinibição pode ser negligenciada muito embora a água atue como um fraco veneno enquanto compostos como amônia e gás sulfídrico, resultantes do processo de HDN e HDS, possuem um efeito envenenador mais pronunciado [7].

Os compostos oxigenados do petróleo não são tão nocivos aos catalisadores quanto os nitrogenados e sulfurados por isto sua interação com os catalisadores ainda não está bem estudada. A (HDO) se faz necessária no sentido de melhorar a qualidade dos combustíveis resultantes do refino do petróleo aumentando a relação H / C dos óleos, além disto compostos oxigenados, como fenois, tendem a propiciar corrosão em metais e ligas quando em altas temperaturas [7].

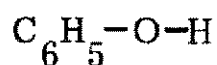
A hidrodeoxigenação dos fenois é o principal objetivo da hidrodeoxigenação, pois as moléculas fenólicas além de numerosas em óleos pesados são as mais difíceis de desoxigenar; apesar de reagirem com relativa facilidade produzem intermediários ainda oxigenados; o retardo da reação exotérmica de HDO , que no meio reacional ocorre sob altas temperaturas, é compensado pela grande quantidade de H_2 dissolvido no resíduo devido a sua alta pressão parcial. Fatores como adsorção competitiva ao catalisador por nitrogenados , tamanho e geometria da molécula evitando que esta penetre nos poros do catalisador e alcance os sítios costumam afetar negativamente o rendimento global da HDO . Um outro fator importante do processo é que existem fortes indícios de que os sítios responsáveis pela hidrogenação são estruturalmente diferentes dos sítios que promovem a hidrogenólise, ou seja, a ruptura da ligação carbono - heteroátomo pela adição de hidrogênio [7].

Principais Compostos Oxigenados Presentes no Petróleo [6], [7] :

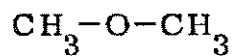
Álcool Metílico :



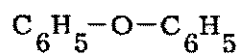
Fenol :



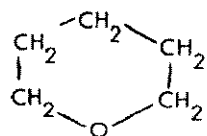
Éter Dimetílico :



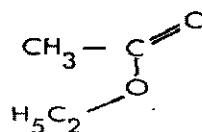
Éter Difenílico :



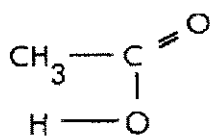
Tetrahidropirano :



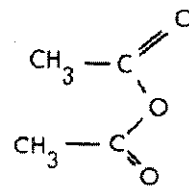
Acetato de Etila



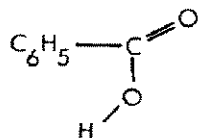
Ácido acético :



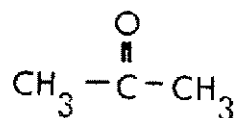
Anidrido Acético :



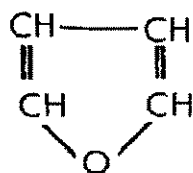
Ácido Benzoico :



Acetona :



Furano :



Benzofurano :

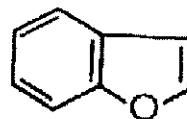


Fig.: 1.3

1.6 - O PROBLEMA DOS ORGANOMETÁLICOS :

A presença de compostos que contém metais no petróleo é de grande interesse industrial, pois deseja-se a mínima quantidade possível de metálicos devido ao fato de serem frequentemente causadores de perda irreversível de atividade catalítica, formação de coque e redução do rendimento da gasolina; dentre todos os metais especialmente o níquel e o vanádio são os mais prejudiciais. Quando alguns óleos ou combustíveis são submetidos a altas temperaturas, a presença dos constituintes metálicos, principalmente os dotados de vanádio, fazem com que haja a formação de depósitos de cinzas que na utilização em turbinas e rotores podem vir a causar o desbalanceamento da peça implicando não raramente em consideráveis prejuízos financeiros. A relação entre compostos metálicos e a corrosão também é significativa uma vez que as cinzas formadas pela utilização dos combustíveis que os contém frequentemente possuem vanádio e sódio em sua composição, o que propicia o surgimento de pontos de deterioração em materiais metálicos e em alguns casos até mesmo a redução do seu ponto de fusão, como é o caso dos refratários em fornalhas [6].

Existem dois grupos de elementos metálicos que aparecem em concentrações significantes nos petróleos: zinco, titânio, cálcio e magnésio são constituintes de organometálicos que são adsorvidos pela interface água - óleo e nela se concentram, enquanto que vanádio, cobre, níquel e ferro costumam ser pertencentes a compostos solúveis no óleo. Os compostos dotados de metal costumam estar mais concentrados nas frações mais pesadas, inclusive nos asfaltenos, muito embora alguns se façam presentes nas frações mais leves, que é o caso dos organometálicos voláteis [6].

Dependendo da localização e da idade do campo petrolífero, os compostos metálicos podem ocorrer em grandes ou pequenas quantidades e pertencer a moléculas das mais variadas estruturas; apenas uma insignificante quantidade de níquel e vanádio encontrados no petróleo estão sob a forma de sais inorgânicos ou partículas sólidas; estas substâncias podem ser facilmente removidas por meios mecânicos e físicos. Poços de petróleo situados no golfo do México comumente apresentam altos teores de metais pesados, alguns com até 1000 ppm de vanádio, enquanto que poços da Nigéria e do Alasca costumam ter quantidades insignificantes de níquel e vanádio [10].

A presença de metais pesados no petróleo, além de causar os problemas já citados, constituem um sério risco a saúde da população, a queima do combustível dotado destes metais resulta em óxidos

pesados venenosos que ficam em suspensão no ar sob a forma de poeira, representando por isto uma perigosa fonte de poluição uma vez que alguns deles, como o óxido de chumbo, é acumulativo no organismo humano e causa danos ao sistema nervoso [10].

Com base nos efeitos prejudiciais de metais pesados em combustíveis resultantes do refino do petróleo, o óleo cru é submetido a um processo de hidrodemetalização (HDM), ou seja, a retirada dos átomos de metais pela adição de hidrogênio a altas pressões, processo que ocorre no mesmo vaso de reação dos processos de HDS, HDO e HDN. Ao contrário dos oxigenados, nitrogenados e sulfurados, os metálicos tendem a se acumular nos poros do catalisador durante as reações de HDM, gerando depósitos que obstruem os poros bloqueando irreversivelmente o acesso aos sítios ativos. Este comportamento nada amigável dos metálicos para com o tratamento do petróleo faz com que esta espécie seja vista como o principal vilão da hidroconversão, até mesmo a modelagem de seu processo cinético torna-se mais complicada. [10].

A desativação catalítica irreversível torna o processo mais oneroso pela necessidade de troca de catalisador em intervalos regulares de processamento. A forte capacidade de desidrogenação do níquel, além de reduzir a seletividade dos catalisadores, causa uma considerável formação de coque, hidrogênio molecular (explosivo) e hidrocarbonetos gasosos que não raro são venenosos e explosivos, o que aumenta em muito a periculosidade do processo [10].

Com base nos vários argumentos acima citados é fácil notar que o sucesso da hidrodemetalização é diretamente proporcional a quantidade de níquel e vanádio retiradas do óleo cru. Experimentalmente é observado que as moléculas que contêm vanádio são mais facilmente demetalizadas que as moléculas níqueladas. O mais eficiente método de hidrodemetalização faz uso de catalisadores preparados com óxido sintético de alumínio ou silicato natural de alumínio enriquecido com óxidos de molibdênio, cobalto e níquel. Analizando alguns dados de literatura pode-se perceber que catalisadores de hidrodemetalização com baixos teores de óxidos metálicos são várias vezes mais eficientes na remoção de metais que os catalisadores de hidrodessulfurização aplicados a este fim. O problema é encontrar catalisadores relativamente baratos tanto do ponto de vista de aquisição quanto do ponto de vista da frequência com que necessitam ser substituídos [10].

Moléculas grandes que contêm níquel e vanádio presentes em betumes, mesmo antes de serem demetalizadas e formarem depósitos, são responsáveis por uma elevada resistência a difusão nos poros do catalisador, o que torna a geometria de estrutura porosa bastante importante em seu

desempenho global [10]. O estudo da deposição metálica nas paredes dos poros do catalisador mostra que esta espécie de depósito não é contínuo como uma camada uniforme, ao contrário apresenta-se como grãos de cristais medindo centenas de angstroms aleatoriamente incrustados. O perfil da deposição metálica, que se modifica ao longo do processamento, nos poros da partícula afeta a tortuosidade global do catalisador fazendo com que sua efetividade passe a variar com o tempo, dificultando a modelagem do processo cinético de HDM [10].

A seguir são apresentados os principais constituintes metálicos do petróleo e suas quantidades [6]:

Tab.:1.1 Metais Presentes no Petróleo

ELEMENTO	ppm	ELEMENTO	ppm
Cu	0,2 a 12	Ti	0,001 a 0,4
Ca	1 a 2,5	Zr	0,001 a 0,4
Mg	1 a 2,5	Si	0,1 a 5
Ba	0,001 a 0,1	Sn	0,1 a 0,3
Sr	0,001 a 0,1	Pb	0,001 a 0,2
Zn	0,5 a 1	V	5 a 1500
Hg	0,03 a 0,1	Fe	0,04 a 120
Ce	0,001 a 0,6	Co	0,001 a 12
B	0,001 a 0,1	Ni	3 a 120
Al	0,5 a 1	Ga	0,001 a 0,1

Uma das moléculas mais comuns a abrigar átomos metálicos no petróleo é a molécula de petroporfirina mostrada abaixo:

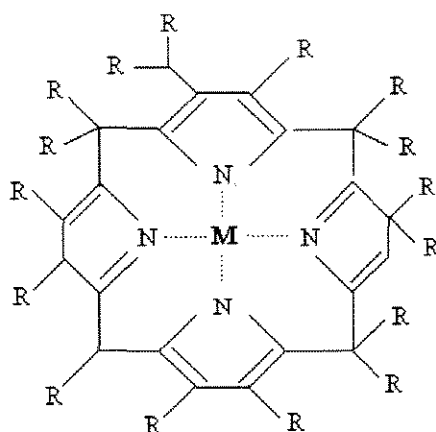


Fig.: 1.4

Para termos idéia dos rendimentos da hidroconversão tomaremos a seguir os resultados de uma unidade específica de hidrotratamento que opera em condições normalmente utilizadas nas indústrias do petróleo [11]:

Tab.: 1.2 Comparação alimentação\produto no hidrotratamento

Transformação de resíduos em moléculas comercializáveis :		50 a 80 % em volume.
Enxofre :	4.85% na alimentação	0.77% wt no produto
Nitrogênio :	5.6 ppm na alimentação	3.27 ppm no produto
Vanadio :	206 ppm na alimentação	12 ppm no produto
Niquel :	89 ppm na alimentação	13 ppm no produto
Carbono :	83.4 % na alimentação	86.7% wt no produto
Hidrogênio :	10.39% na alimentação	11.82% wt no produto
° API :	7.4 na alimentação	24.2 no produto

1.7 - COMPORTAMENTO CINÉTICO EXPERIMENTAL

COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE HDS, HDN E HDO PARA DOIS TIPOS DE ÓLEO SOB ALGUNS CATALISADORES SELECIONADOS [12].

Tipo - 1 :

ILLINOIS N°6 : (85.57% - C), (13.24% - H), (1.26% - O), (1660 ppm - N), (1100 ppm - S).

Tipo - 2 :

BLACK THUNDER : (85.23% - C), (12.23% - H), (1.80% - O), (1460 PPM - N), (382 PPM - S).

CINÉTICA DE HDN

Illinois N°6 :

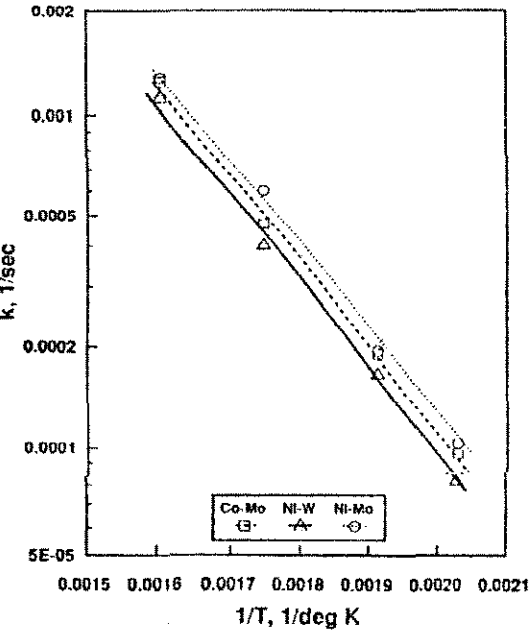


Fig.: 1.5

Black Thunder :

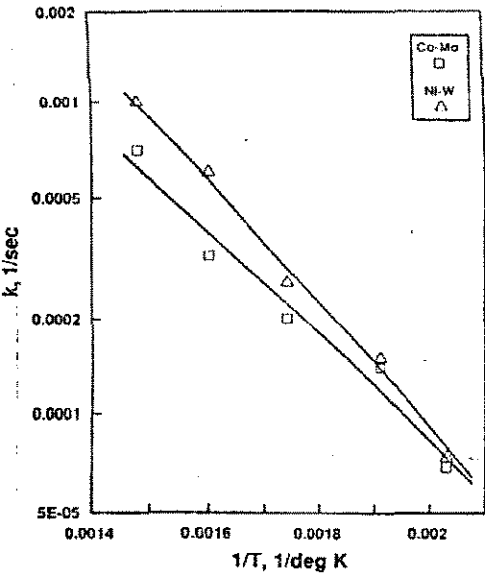


Fig.: 1.6

CINÉTICA DE HDS

Illinois N° 6 :

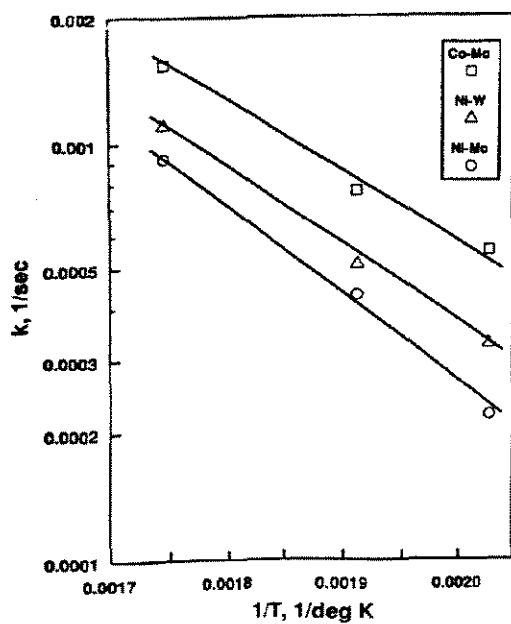


Fig. : 1.7

Black Thunder :

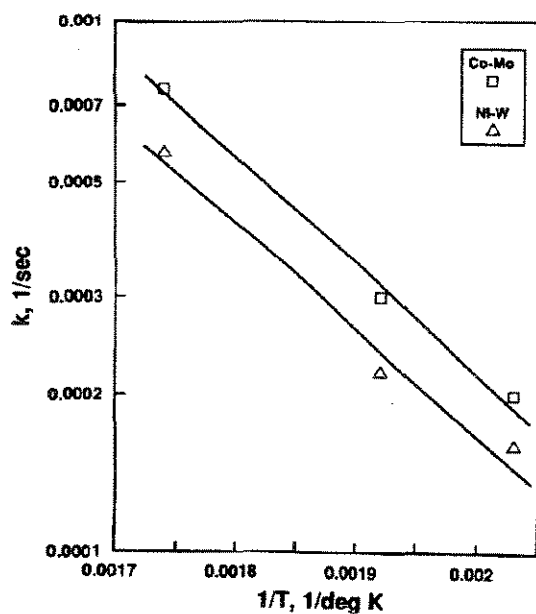


Fig. : 1.8

CINÉTICA DE HDO

Black Thunder :

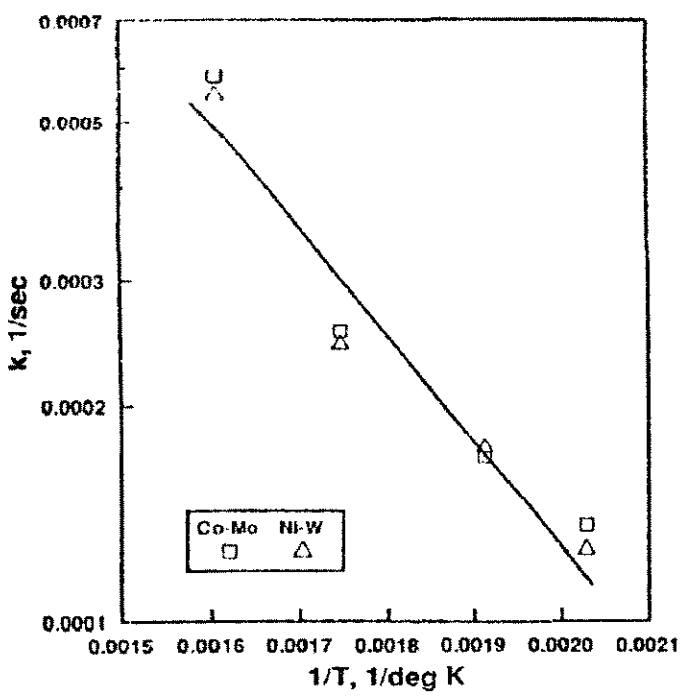


Fig.: 1.9

Illinois N° 6 :

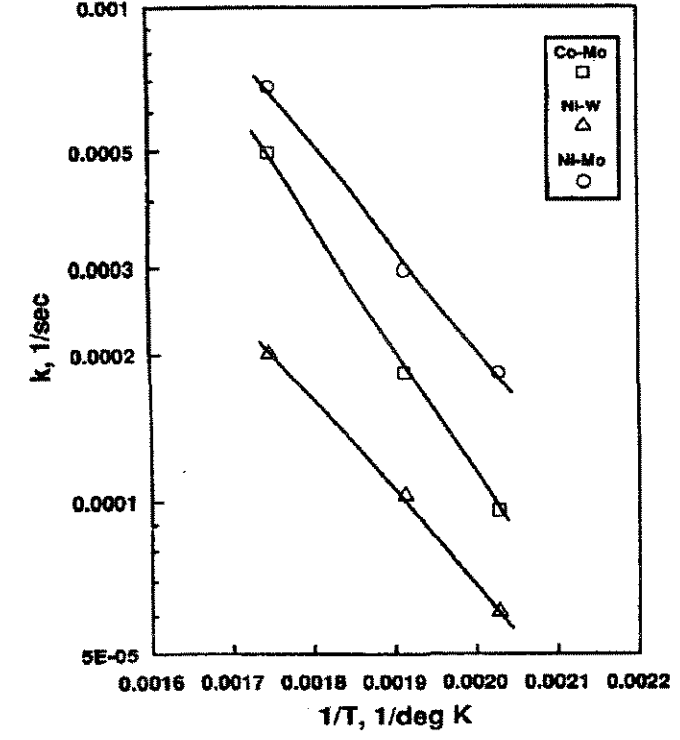


Fig.: 1.10

1.8 - Rede das Reações de Hidrocraqueamento do Resíduo [13]:

Onde : A_h São os Aromáticos Pesados.
 A_l São os Aromáticos Leves.
 N_h São os Naftenicos Pesados.
 N_l São os Naftenicos Leves.
 P_h São as parafinas Pesadas.
 P_l São as Parafinas Leves.

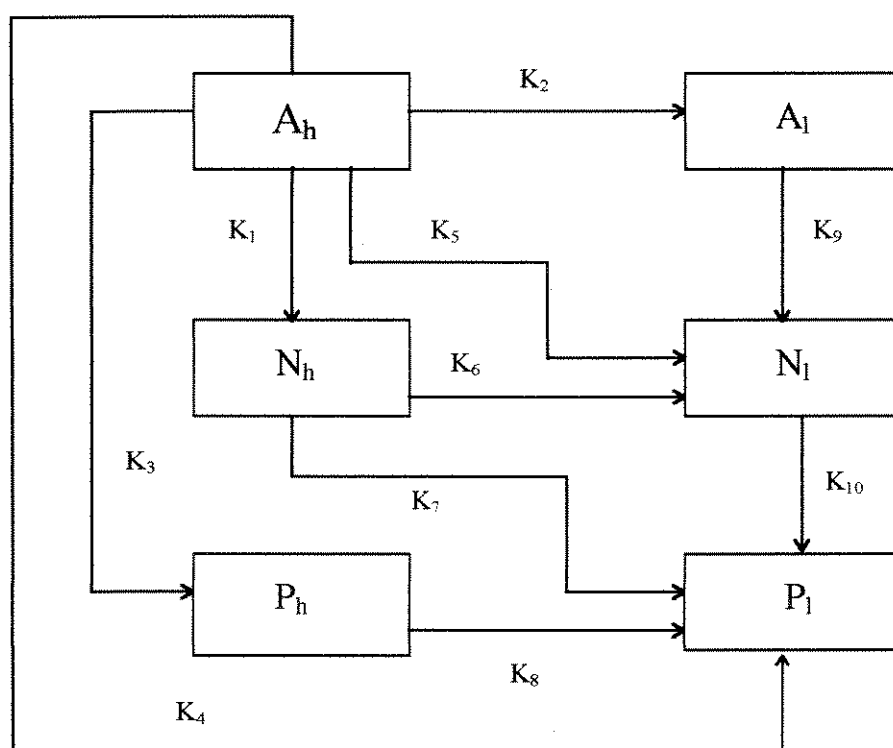
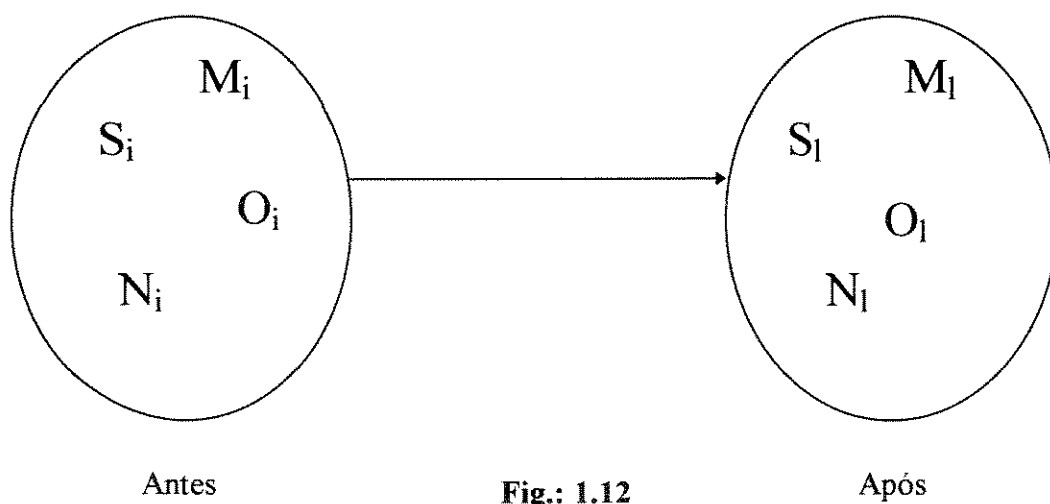


Fig.:1.11

Reações de Desulfurização, Denitrogenação, Desoxigenação e Demetalização. Não participam de rede cinética.:

Onde : S_i : Concentração de Sulfurados Antes do Tratamento.
 S_l : Concentração de Sulfurados Após o Tratamento.
 N_i : Concentração de Nitrogenados Antes do Tratamento.
 N_l : Concentração de Nitrogenados Após o Tratamento.
 O_i : Concentração de Oxigenados Antes do Tratamento.
 O_l : Concentração de Oxigenados Após o Tratamento.
 M_i : Concentração de Organometálicos Antes do Tratamento.
 M_l : Concentração de Organometálicos Após o Tratamento.



Sendo :

$$M_l < M_i \quad , \quad S_l < S_i \quad , \quad N_l < N_i \quad , \quad O_l < O_i .$$

Informações para a caracterização da rede de hidroconversão[1] :

Sulfurado é o pseudocomponente formado por todas as moléculas que possuem pelo menos um átomo de enxofre.

Nitrogenado é o pseudocomponente formado por todas as moléculas que possuem pelo menos um átomo de nitrogênio.

Oxigenado é o pseudocomponente formado por todas as moléculas que possuem pelo menos um átomo de Oxigênio.

Organometálico é o pseudocomponente formado por todas as moléculas que possuem pelo menos um átomo pertencente a classe dos metais.

Aromático é o pseudocomponente formado por todas as moléculas que possuem pelo menos um um anel benzênico em sua estrutura.

Naftênico é o pseudocomponente formado por todos os hidrocarbonetos que possuem pelo menos um anel saturado em sua estrutura, sendo todo o resto da molécula também completamente saturada.

Parafina é o pseudocomponente formado por todos os hidrocarbonetos que não possuem estruturas cíclicas, ou anéis benzenicos, seus carbonos são completamente saturados.

A quantidade de alcenos é zero ou desprezível na quase totalidade dos tipos de petróleo.

No grupo de compostos constituintes do petróleo são considerados leves as frações que possuem ponto de ebulição até 343 °C (650 °F) e pesadas as frações que possuem ponto de ebulição a partir de 343 °C (650° F).

CAPÍTULO - 2

CINÉTICA DE HIDROCONVERSÃO APLICADA AO MODELO DE SÉRIE DE CSTR'S IDEAIS

“ Fazer ciência é ver o que todo mundo vê
e pensar o que ninguém nunca pensou. “

- Bertrand Russel -

2.1 - Modelagem do comportamento cinético do resíduo do petróleo em uma série de cstr's ideais :

- O balanço molar no interior de um cstr :

$$\left[\begin{array}{l} \text{Fluxo de A} \\ \text{para dentro} \\ \text{do sistema.} \\ \text{(Moles / h)} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Taxa de geracao} \\ \text{de A por reacao} \\ \text{quimica dentro} \\ \text{do reator (Mol / h)} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Fluxo de A} \\ \text{para fora} \\ \text{do sistema.} \\ \text{(Moles / h)} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Taxa de acumulo} \\ \text{de A dentro do} \\ \text{sistema reacional} \end{array} \right]$$

$$F_{Ao} + G_A - F_A = \frac{dN_A}{dt} \quad [2.01]$$

No caso de um cstr ideal em regime permanente, o que é aqui considerado, o acúmulo da espécie A é zero e a taxa de geração é o produto da taxa de reação pelo volume de fluido reacional para o caso de reações não catalíticas e o produto da taxa de reação pela massa de catalizador contida no sistema para o caso de reações catalíticas, logo :

$$\text{Para reações Não Catalíticas : } G_A = V \cdot r_A \quad [2.02]$$

$$\text{Para reações catalíticas : } G_A = W \cdot \widehat{r}_A \quad [2.03]$$

$$\text{Em ambos os casos, para o nosso sistema : } \frac{dN_A}{dt} = 0 \quad [2.04]$$

$$\text{Para uma maior simplificação podemos ainda fazer : } F_A = C_A \cdot F \quad [2.05]$$

Onde F é a vazão volumétrica do sistema (m³ / h).

Com base nos argumentos acima podemos escrever que :

Para reações não catalíticas :

$$FC_{Ao} + Vr_A = FC_A \quad [2.06]$$

Para reações catalíticas :

$$FC_{Ao} + W\widehat{r}_A = FC_A \quad [2.07]$$

2.2 - Hidrocraqueamento

Sistema de CSTR's em Série :

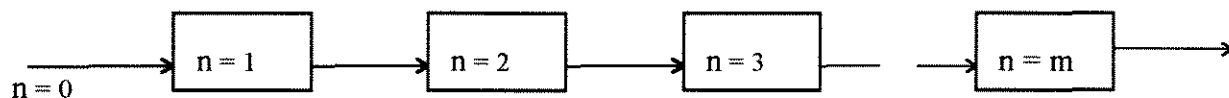


Fig.:2.1

Balanços de Massa Para CSTR's em Série :

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

$$FA_h^n - V(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5)A_h^{n+1} = FA_h^{n+1} \quad [2.08]$$

$$A_h^{n+1} = \frac{FA_h^n}{F + V(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5)} \quad [2.09]$$

PARA AROMÁTICOS LEVES :

$$FA_l^n + Vk_2 A_h^{n+1} - Vk_9 A_l^{n+1} = FA_l^{n+1} \quad [2.10]$$

$$A_l^{n+1} = \frac{FA_l^n + Vk_2 A_h^{n+1}}{F + Vk_9} \quad [2.11]$$

PARA NAFTENICOS PESADOS :

$$FN_h^n + Vk_1 A_h^{n+1} - Vk_6 N_h^{n+1} - Vk_7 N_h^{n+1} = FN_h^{n+1} \quad [2.12]$$

$$N_h^{n+1} = \frac{FN_h^n + Vk_1 A_h^{n+1}}{V(k_6 + k_7) + F} \quad [2.13]$$

PARA PARAFINAS PESADAS :

$$F P_h^n + V k_3 A_h^{n+1} - V k_8 P_h^{n+1} = F P_h^{n+1} \quad [2.14]$$

$$P_h^{n+1} = \frac{F P_h^n + V k_3 A_h^{n+1}}{V k_8 + F} \quad [2.15]$$

PARA NAFTENICOS LEVES :

$$F N_l^n + V k_5 A_h^{n+1} + V k_6 N_h^{n+1} + V k_9 A_l^{n+1} - V k_{10} N_l^{n+1} = F N_l^{n+1} \quad [2.16]$$

$$N_l^{n+1} = \frac{F N_l^n + V k_5 A_h^{n+1} + V k_6 N_h^{n+1} + V k_9 A_l^{n+1}}{V k_{10} + F} \quad [2.17]$$

PARA PARAFINAS LEVES :

$$F P_l^n + V k_4 A_h^{n+1} + V k_7 N_h^{n+1} + V k_8 P_h^{n+1} + V k_{10} N_l^{n+1} = F P_l^{n+1} \quad [2.18]$$

$$P_l^{n+1} = \frac{F P_l^n + V (k_4 A_h^{n+1} + k_7 N_h^{n+1} + k_8 P_h^{n+1} + k_{10} N_l^{n+1})}{F} \quad [2.19]$$

OU

$$P_l = 100\% - A_h - N_h - P_h - A_l - N_l \quad [2.20]$$

Onde : $A_h^o, N_h^o, P_h^o, A_l^o, N_l^o, P_l^o$ Perfazem a Composicao Inicial do Residuo.

F Sendo a Vazao volumetrica do Sistema.

V Sendo o Volume de Cada CSTR.

Uma vez que as reações de Hidrodenitrogenação e hidrodesoxigenação, embora catalíticas, não são controladas por difusão, podemos escrever que :

2.3 - Hidrodenitrogenação

$$FN_h^n - Wk_{hdn} N_l^{n+1} = FN_l^{n+1} \tag{2.21}$$

$$N_l^{n+1} = \frac{FN_h^n}{Wk_{hdn} + F} \tag{2.22}$$

2.4 - Hidrodesoxigenação

$$FO_h^n - Wk_{hdo} O_l^{n+1} = FO_l^{n+1} \tag{2.23}$$

$$O_l^{n+1} = \frac{FO_h^n}{Wk_{hdo} + F} \tag{2.24}$$

CAPÍTULO - 3

CINÉTICA DE HIDROCONVERSÃO APLICADA AO MODELO DE PFR COM DISPERSÃO AXIAL.

**“ O descontentamento é o
motor da evolução. “**

- Oscar Wilde -

3.1 - Modelagem do comportamento cinético do resíduo do petróleo em um reator de hidrocrackeamento tubular com dispersão axial.

A fluxodinâmica molecular no interior de um reator tubular :

Em um reator tubular, a quantidade de moléculas de uma dada espécie química ou de um pseudocomponente que atravessa um plano estacionário perpendicular ao eixo axial do reator é o somatório de duas contribuições : o fluxo de matéria que se desloca ao longo do reator devido a transmissão de quantidade de movimento entre as moléculas, geralmente ocasionado pela ação de um equipamento impulsor de fluido; e a migração natural das moléculas de uma região que possui uma maior concentração de suas semelhantes para uma região menos concentrada destas. Este último fluxo é ocasionado pelas reações químicas que se processam no interior do equipamento, as quais se deve o surgimento dos gradientes de concentração, que fazem surgir regiões mais e menos concentradas ao longo da direção axial.

- O fluxo molar atribuído a transmissão de quantidade de movimento entre as moléculas pode ser quantificado como sendo :

$$F_{Q.M.} = U \cdot A_c \cdot C_A \quad [3.01]$$

Onde :

$F_{Q.M.}$ → Vazão molar atribuída à transmissão da quantidade de movimento, (Mol / h)

U → Velocidade média do fluido dentro do reator, perfil plano de velocidade, (m / h)

A_c → Área de fluxo, normal ao eixo do reator, (m²)

C_A → Concentração da espécie ' A ' em uma dada coordenada axial do reator, (Mol / m³)

- O fluxo molar devido ao gradiente de concentração pode ser quantificado como a seguir :

A velocidade com que as moléculas deixam as regiões mais concentradas rumando para regiões menos concentradas de suas semelhantes, por área de fluxo, é descrita pela primeira lei de Fick como sendo :

$$\frac{J_A}{A_c} = -D_{AM} \frac{\partial C_A}{\partial z} \quad [3.02]$$

Onde : $J_A \rightarrow$ Fluxo molar médio a uma dada coordenada axial, (Mol / h)
 $Z \rightarrow$ Coordenada axial do reator, (m)
 $C_A \rightarrow$ Concentração da espécie ' A ' em uma dada coordenada z , (Mol / m³)
 $D_{AM} \rightarrow$ Coeficiente de difusão das moléculas de ' A ' na mistura ' M ', (m² / h)

- Com base nos argumentos anteriores podemos escrever que :

$$F_A = -A_c D_{AM} \frac{\partial C_A}{\partial z} + U A_c C_A \quad [3.03]$$

Onde : $F_A \rightarrow$ Fluxo molar global da espécie ' A '

- Efetuando um simples balanço molar em um volume diferencial de controle de um reator tubular temos que:

Para reações não catalíticas :

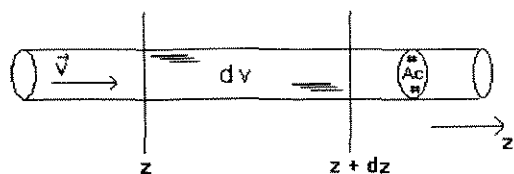


Fig.:3.1

$$F_A(z) + r_A dV = F_A(z + dz) \quad [3.04]$$

$$dV = A_c dz \quad [3.05]$$

$$F_A(z) + r_A A_c dz = F_A(z + dz) \quad [3.06]$$

$$\frac{F_A(z + dz) - F_A(z)}{A_c dz} = r_A \quad [3.07]$$

$$\frac{dF_A}{dV} = r_A \quad [3.08]$$

Para reações catalíticas :

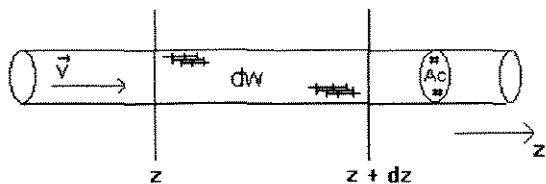


Fig.:3.2

$$F_A(z) + \hat{r}_A dW = F_A(z + dz) \quad [3.09]$$

$$dW = \rho_{bulk} A_c dz \quad [3.10]$$

$$F_A(z) + \hat{r}_A \rho_{bulk} A_c dz = F_A(z + dz) \quad [3.11]$$

$$\frac{F_A(z + dz) - F_A(z)}{A_c dz} = \rho_{bulk} \hat{r}_A \quad [3.12]$$

$$\frac{dF_A}{dV} = \rho_{bulk} \hat{r}_A \quad [3.13]$$

Onde : $W \rightarrow$ Massa de catalizador no interior do reator, (Kg cat.)

$V \rightarrow$ Volume do reator tubular, (m^3) $r_A \rightarrow$ Taxa volumétrica de reação, (Mol / h m^3)

$\hat{r}_A \rightarrow$ Taxa catalítica de reação, (Mol/h Kg cat)

$\rho_{bulk} \rightarrow$ Densidade do leito catalítico (Kg cat. / m^3)

- Substituindo os valores de F_A provenientes dos balanços de massa no corpo do reator, nas equações de fluxodinâmica molecular temos que :

Para reações não catalíticas :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_A = -A_c D_{AM} \frac{\partial C_A}{\partial z} + U A_c C_A \end{array} \right. \quad [3.14]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dF_A}{dV} = r_A \rightarrow \frac{dF_A}{dz} = A_c r_A \end{array} \right. \quad [3.15]$$

$$\frac{dF_A}{dz} = -A_c D_{AM} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + U A_c \frac{\partial C_A}{\partial z} = A_c r_A \quad [3.16]$$

Dividindo a equação por $(-UA_c)$ e reagrupando os termos, temos que :

$$\frac{D_{AM}}{U} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{r_A}{U} = 0 \quad [3.17]$$

Para reações catalíticas :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_A = -A_c D_{AM} \frac{\partial C_A}{\partial z} + U A_c C_A \end{array} \right. \quad [3.18]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dF_A}{dV} = \rho_{bulk} \hat{r}_A \rightarrow \frac{dF_A}{dz} = \rho_{bulk} A_c \hat{r}_A \end{array} \right. \quad [3.19]$$

$$\frac{dF_A}{dz} = -A_c D_{AM} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + U A_c \frac{\partial C_A}{\partial z} = \rho_{bulk} A_c \hat{r}_A \quad [3.20]$$

Dividindo a equação por $(-UA_c)$ e reagrupando os termos, temos que :

$$\frac{D_{AM}}{U} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{\rho_{bulk} \hat{r}_A}{U} = 0 \quad [3.21]$$

- Neste trabalho a rede de hidrocraqueamento foi considerada térmica enquanto que as reações de hidrogenitrogenação e hidrodesoxigenação são efetivamente reações catalíticas.

3.2 - Aplicação das equações de trabalho acima às redes cinéticas

- BALANÇO DE MASSA PARA OS COMPONENTES DO RESÍDUO :

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

$$\frac{D_{Ah}}{U} \frac{d^2 A_h}{dz^2} - \frac{dA_h}{dz} - \frac{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5)}{U} A_h = 0 \quad [3.22]$$

$$Temos : A_h = A_h(z)$$

PARA AROMÁTICOS LEVES :

$$\frac{D_{Al}}{U} \frac{d^2 A_l}{dz^2} - \frac{dA_l}{dz} + \frac{[k_2 A_h(z) - k_9 A_l]}{U} = 0 \quad [3.23]$$

$$Temos : A_l = A_l(z)$$

PARA NAFTENICOS PESADOS :

$$\frac{D_{Nh}}{U} \frac{d^2 N_h}{dz^2} - \frac{dN_h}{dz} + \frac{[k_1 A_h(z) - k_6 N_h - k_7 N_h]}{U} = 0 \quad [3.24]$$

$$Temos : N_h = N_h(z)$$

PARA PARAFINAS PESADAS :

$$\frac{D_{Ph}}{U} \frac{d^2 P_h}{dz^2} - \frac{dP_h}{dz} + \frac{[k_3 A_h(z) - k_8 P_h]}{U} = 0 \quad [3.25]$$

$$Temos : P_h = P_h(z)$$

PARA NAFTENICOS LEVES :

$$\frac{D_{Nl}}{U} \frac{d^2 N_l}{dz^2} - \frac{dN_l}{dz} + \frac{[k_5 A_h(z) + k_6 N_h(z) + k_9 A_l(z) - k_{10} N_l]}{U} = 0 \quad [3.26]$$

$$Temos : N_l = N_l(z)$$

PARA PARAFINAS LEVES :

$$\frac{D_{Pl}}{U} \frac{d^2 P_l}{dz^2} - \frac{dP_l}{dz} + \frac{[k_4 A_h(z) + k_7 N_h(z) + k_8 P_h(z) + k_{10} N_l(z)]}{U} = 0 \quad [3.27]$$

OU

$$P_l(z) = 100 - A_h(z) - N_h(z) - P_h(z) - A_l(z) - N_l(z) \quad [3.28]$$

$$Temos: P_l = f(z)$$

3.3 - Para hidrogenitrogenação e hidrodesoxigenação

Para Compostos Contendo Nitrogênio :

$$\frac{D_N}{U} \frac{d^2 N}{dz^2} - \frac{dN}{dz} - \frac{\rho_{Bulk} k_{hdn}}{U} N = 0 \quad [3.29]$$

Para Compostos Contendo Oxigênio :

$$\frac{D_O}{U} \frac{d^2 O}{dz^2} - \frac{dO}{dz} - \frac{\rho_{Bulk} k_{hdo}}{U} O = 0 \quad [3.30]$$

- As equações acima tensionam predizer o comportamento das concentrações indicadas em função da coordenada axial de um reator tubular na rede cinética considerada.

3.4 - Adimensionalizando :

Definiremos as seguintes variáveis :

$$\Psi_{Ah} = \frac{Ah}{Ah_o} , \quad \Psi_{Al} = \frac{Al}{Al_o} , \quad \Psi_{Nh} = \frac{Nh}{Nh_o} \quad [3.31 , 3.32 , 3.33 , \text{Respectivamente}]$$

$$\Psi_{Nl} = \frac{Nl}{Nl_o} , \quad \Psi_{Ph} = \frac{Ph}{Ph_o} , \quad \Psi_{Pl} = \frac{Pl}{Pl_o} \quad [3.34 , 3.35 , 3.36 , \text{Respectivamente}]$$

$$\Psi_N = \frac{N}{N_i} , \quad \Psi_O = \frac{O}{O_i} , \quad \lambda = \frac{z}{L} \quad [3.37 , 3.38 , 3.39 , \text{Respectivamente}]$$

Então temos que :

$$d(Ah) = Ah_o \cdot d\Psi_{Ah} , \quad d(Al) = Al_o \cdot d\Psi_{Al} , \quad d(Nh) = Nh_o \cdot d\Psi_{Nh} \quad [3.40 , 3.41 , 3.42 , \text{Respectivamente}]$$

$$d(Nl) = Nl_o \cdot d\Psi_{Nl} , \quad d(Ph) = Ph_o \cdot d\Psi_{Ph} , \quad d(Pl) = Pl_o \cdot d\Psi_{Pl} \quad [3.43 , 3.44 , 3.45 , \text{Respectivamente}]$$

$$d(N) = Ni \cdot d\Psi_N , \quad d(O) = Oi \cdot d\Psi_O , \quad dz = L \cdot d\lambda \quad [3.46 , 3.47 , 3.48 , \text{Respectivamente}]$$

Avaliando a primeira derivada :

$$\frac{d(Ah)}{dz} = \frac{Ah_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Ah}}{d\lambda} , \quad \frac{d(Al)}{dz} = \frac{Al_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Al}}{d\lambda} , \quad \frac{d(Nh)}{dz} = \frac{Nh_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Nh}}{d\lambda} \quad [3.49 , 3.50 , 3.51 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d(Nl)}{dz} = \frac{Nl_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Nl}}{d\lambda} , \quad \frac{d(Ph)}{dz} = \frac{Ph_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Ph}}{d\lambda} , \quad \frac{d(Pl)}{dz} = \frac{Pl_o}{L} \cdot \frac{d\Psi_{Pl}}{d\lambda} \quad [3.52 , 3.53 , 3.54 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d(N)}{dz} = \frac{Ni}{L} \cdot \frac{d\Psi_N}{d\lambda} , \quad \frac{d(O)}{dz} = \frac{Oi}{L} \cdot \frac{d\Psi_O}{d\lambda} \quad [3.55 , 3.56 , \text{Respectivamente}]$$

Avaliando a segunda derivada :

$$\frac{d^2(Ah)}{dz^2} = \frac{Ah_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Ah}/d\lambda)}{dz} , \quad \frac{d^2(Al)}{dz^2} = \frac{Al_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Al}/d\lambda)}{dz} \quad [3.57 , 3.58 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(Nh)}{dz^2} = \frac{Nh_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Nh}/d\lambda)}{dz} , \quad \frac{d^2(Nl)}{dz^2} = \frac{Nl_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Nl}/d\lambda)}{dz} \quad [3.59 , 3.60 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(Ph)}{dz^2} = \frac{Ph_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Ph}/d\lambda)}{dz} , \quad \frac{d^2(Pl)}{dz^2} = \frac{Pl_o}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_{Pl}/d\lambda)}{dz} \quad [3.61 , 3.62 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(N)}{dz^2} = \frac{Ni}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_N/d\lambda)}{dz} , \quad \frac{d^2(O)}{dz^2} = \frac{Oi}{L} \cdot \frac{d(d\Psi_O/d\lambda)}{dz} \quad [3.63 , 3.64 , \text{Respectivamente}]$$

Sabendo-se que : $dz = L \cdot d\lambda$

$$\frac{d^2(Ah)}{dz^2} = \frac{Ah_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Ah}}{d\lambda^2} , \quad \frac{d^2(Al)}{dz^2} = \frac{Al_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Al}}{d\lambda^2} \quad [3.65 , 3.66 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(Nh)}{dz^2} = \frac{Nh_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Nh}}{d\lambda^2} , \quad \frac{d^2(Nl)}{dz^2} = \frac{Nl_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Nl}}{d\lambda^2} \quad [3.67 , 3.68 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(Ph)}{dz^2} = \frac{Ph_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Ph}}{d\lambda^2} , \quad \frac{d^2(Pl)}{dz^2} = \frac{Pl_o}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_{Pl}}{d\lambda^2} \quad [3.69 , 3.70 , \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d^2(N)}{dz^2} = \frac{Ni}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_N}{d\lambda^2} , \quad \frac{d^2(O)}{dz^2} = \frac{Oi}{L^2} \cdot \frac{d^2\Psi_O}{d\lambda^2} \quad [3.71 , 3.72 , \text{Respectivamente}]$$

Substituindo as equações acima nas equações de projeto e rearrumando os termo temos que :

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

$$\frac{D_{Ah}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{Ah}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{Ah}}{d\lambda} - \frac{L}{U} \cdot (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5) \Psi_{Ah} = 0 \quad [3.73]$$

$$Temos : \Psi_{Ah} = \Psi_{Ah}(\lambda)$$

PARA AROMÁTICOS LEVES :

$$\frac{D_{Al}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{Al}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{Al}}{d\lambda} + \frac{L}{U} \cdot [k_2 \cdot (Ah_o / Al_o) \cdot \Psi_{Ah}(\lambda) - k_9 \cdot \Psi_{Al}] = 0 \quad [3.74]$$

$$Temos : \Psi_{Al} = \Psi_{Al}(\lambda)$$

PARA NAFTENICOS PESADOS :

$$\frac{D_{Nh}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{Nh}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{Nh}}{d\lambda} + \frac{L}{U} \cdot [k_1 \cdot (Ah_o / Nh_o) \cdot \Psi_{Ah}(\lambda) - (k_6 + k_7) \Psi_{Nh}] = 0 \quad [3.75]$$

$$Temos : \Psi_{Nh} = \Psi_{Nh}(\lambda)$$

PARA PARAFINAS PESADAS :

$$\frac{D_{Ph}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{Ph}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{Ph}}{d\lambda} + \frac{L}{U} \cdot [k_3 \cdot (Ah_o / Ph_o) \cdot \Psi_{Ah}(\lambda) - k_8 \Psi_{Ph}] = 0 \quad [3.76]$$

$$Temos : \Psi_{Ph} = \Psi_{Ph}(\lambda)$$

PARA NAFTENICOS LEVES :

$$\frac{D_{NI}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{NI}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{NI}}{d\lambda} + \frac{L}{U} \cdot \left[k_5 \cdot \frac{Ah_o}{NI_o} \Psi_{Ah}(\lambda) + k_9 \cdot \frac{Al_o}{NI_o} \Psi_{Al}(\lambda) + k_6 \cdot \frac{Nh_o}{NI_o} \Psi_{Nh}(\lambda) - k_{10} \Psi_{NI} \right] = 0 \quad [3.77]$$

$$Temos : \Psi_{NI} = \Psi_{NI}(\lambda)$$

PARA PARAFINAS LEVES :

$$\frac{D_{Pl}}{UL} \frac{d^2 \Psi_{Pl}}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_{Pl}}{d\lambda} + \frac{L}{U} \cdot \left[k_4 \cdot \frac{Ah_o}{Pl_o} \Psi_{Ah}(\lambda) + k_{10} \cdot \frac{NI_o}{Pl_o} \Psi_{NI}(\lambda) + k_7 \cdot \frac{Nh_o}{Pl_o} \Psi_{Nh}(\lambda) + k_8 \cdot \frac{Ph_o}{Pl_o} \Psi_{Ph}(\lambda) \right] = 0 \quad [3.78]$$

$$Temos : \Psi_{Pl} = \Psi_{Pl}(\lambda)$$

Para Compostos Contendo Nitrogênio :

$$\frac{D_N}{UL} \frac{d^2 \Psi_N}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_N}{d\lambda} - \frac{L}{U} \cdot \rho_{Bulk} \cdot k_{hdn} \Psi_N = 0 \quad [3.79]$$

Para Compostos Contendo Oxigênio :

$$\frac{D_O}{UL} \frac{d^2 \Psi_O}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi_O}{d\lambda} - \frac{L}{U} \cdot \rho_{Bulk} \cdot k_{hdo} \Psi_O = 0 \quad [3.80]$$

- Estudo das condições de contorno :

Primeira condição de contorno :

Uma vez que a reação se encerra quando o fluxo reacional atinge o final do reator tubular , é razoavel escrevermos que :

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} = 0 \text{ em } z = L \quad [3.81] \quad \text{Ou seja} \quad \frac{\partial \Psi_A}{\partial \lambda} = 0 \text{ em } \lambda = 1 \quad [3.82]$$

Aplicando para o sistema considerado temos que :

$$\frac{\partial \Psi_{Ah}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_{Al}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_{Nh}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_{Nl}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_{Ph}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_{Pl}}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_N}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Psi_O}{\partial \lambda} = 0 \text{ em } \lambda = 1 \quad [3.83]$$

Segunda condição de contorno :

Esta segunda condição pode ser quantificada de acordo com o balanço de massa a seguir :

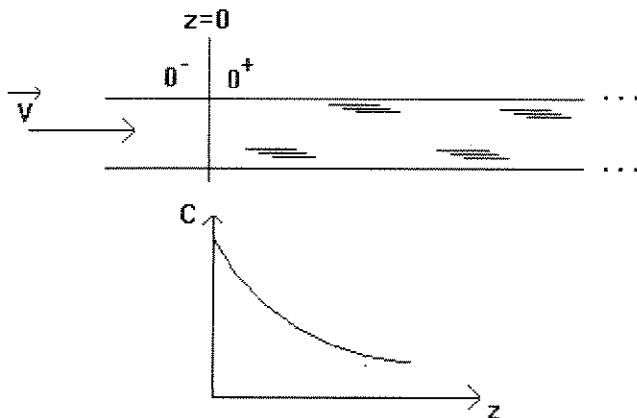


Fig.:3.3

$$UA_c C_{Ao} \Big|_{z<0} = -A_c D_{AM} \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z=0} + UA_c C_A \Big|_{z=0} \quad [3.84]$$

Ou seja : A quantidade de moléculas da espécie 'A' que entra no reator tubular é o somatório das moléculas que cruzam a fronteira de entrada devido a transmissão da quantidade de movimento e das moléculas que cruzam a fronteira devido ao processo de difusão, sendo que todas estas moléculas que cruzaram a fronteira de entrada do reator tubular são provenientes da massa de fluido imediatamente anterior a esta fronteira.

A fim de tornar esta equação mais tratável vamos dividir seus membros por $(UA_c C_A|_{z=0^-})$

$$\frac{-D_{AM}}{UC_A|_{z<0}} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial z} \Big|_{z=0} + \frac{C_A|_{z=0}}{C_A|_{z<0}} = 1 \quad [3.85]$$

Vamos agora adimensionalizar esta equação :

$$\Psi_A = \frac{C_A|_{z=0}}{C_A|_{z<0}}, \quad \lambda = \frac{z}{L} \quad [3.86]$$

Logo temos que :

$$\frac{-D_{AM}}{UL} \cdot \frac{\partial \Psi_A}{\partial \lambda} + \Psi_A = 1 \quad [3.87]$$

Que é a nossa segunda condição de contorno.

Definindo : $Pe = \frac{UL}{D_{AM}}$ [3.88] e aplicando esta segunda condição de contorno ao nosso sistema temos que :

$$-\frac{1}{Pe_{Ah}} \cdot \frac{d\Psi_{Ah}}{d\lambda} + \Psi_{Ah} = -\frac{1}{Pe_{Al}} \cdot \frac{d\Psi_{Al}}{d\lambda} + \Psi_{Al} = -\frac{1}{Pe_{Nh}} \cdot \frac{d\Psi_{Nh}}{d\lambda} + \Psi_{Nh} = 1, \text{ em } \lambda = 0 \quad [3.89]$$

$$-\frac{1}{Pe_{NI}} \cdot \frac{d\Psi_{NI}}{d\lambda} + \Psi_{NI} = -\frac{1}{Pe_{Ph}} \cdot \frac{d\Psi_{Ph}}{d\lambda} + \Psi_{Ph} = -\frac{1}{Pe_{PI}} \cdot \frac{d\Psi_{PI}}{d\lambda} + \Psi_{PI} = 1, \text{ em } \lambda = 0 \quad [3.90]$$

$$-\frac{1}{Pe_N} \cdot \frac{d\Psi_N}{d\lambda} + \Psi_N = -\frac{1}{Pe_O} \cdot \frac{d\Psi_O}{d\lambda} + \Psi_O = 1, \text{ em } \lambda = 0 \quad [3.91]$$

Uma vez definidas as equações diferenciais referentes ao sistema considerado e suas condições de contorno , o próximo passo agora será a resolução do modelo.

CAPÍTULO - 4

RESOLUÇÃO DOS MODELOS PROPOSTOS.

**“ Uma tarefa nunca é impossível para
aqueles que não têm de executá-la. “**

- David Himmelblau -

4.1 - Resolução do modelo da cinética de hidroconversão no reator tubular por colocação simples:

- Uma vez que não sabemos de ante-mão o comportamento das concentrações no interior do reator, definiremos como função tentativa um polinômio que suporte sete pontos de colocação internos e dois para as condições de contorno:

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6 + a_7x^7 + a_8x^8 \quad [4.01]$$

Onde : $P(x) \rightarrow$ (Concentração / Concentração inicial)
 $x \rightarrow$ (Coordenada axial / Comprimento do reator)

Esta função tentativa terá de satisfazer as condições de contorno para o problema da dispersão axial.

- Condição N° 1 :

$$P - \frac{1}{Pe} \cdot \frac{dP}{dx} = 1, \text{ em } x = 0 \quad [4.02] \quad , \text{ Logo : } a_0 - \frac{1}{Pe} a_1 = 1 \quad [4.03]$$

- Condição N° 2 :

$$\frac{dP}{dx} = 0, \text{ em } x = 1 \quad [4.04]$$

Logo :

$$a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7 + 8a_8 = 0 \quad [4.05]$$

$$a_8 = -\frac{1}{8}(a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7 + 8a_8) \quad [4.06]$$

A função tentativa então fica :

$$P(x) = \left(1 + \frac{a_1}{Pe}\right) + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6 + a_7x^7 - \frac{1}{8}(a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^8 \quad [4.07]$$

Que terá de satisfazer a equação : [4.08, 4.09, 4.09, 4.10, 4.11, 4.12, Respectivamente]

$$\frac{1}{Pe} \cdot \frac{d^2\Psi}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi}{d\lambda} - G_a\Psi = 0, \text{ Onde : } \Psi = \frac{C_A}{C_{Ao}}, \lambda = \frac{z}{L}, Pe = \frac{D_A}{UL}, G_a = \frac{kL}{U}$$

- Uma vez que $P(x)$ é apenas uma aproximação de $\Psi(\lambda)$ podemos definir uma função resíduo como sendo :

$$R(x, G_a, Pe) = \frac{1}{Pe} \cdot \frac{d^2 P}{dx^2} - \frac{dP}{dx} - G_a P \quad [4.13]$$

Sendo $R(x_i) = 0$ nos sete pontos de colocação x_i , arbitrariamente escolhidos exclusivamente entre zero e um.

- Afim de calcularmos a função resíduo temos que avaliar a primeira e segunda derivada da função tentativa :

$$\frac{dP}{dx} = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3 + 5a_5x^4 + 6a_6x^5 + 7a_7x^6 - (a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^7 \quad [4.14]$$

$$\frac{d^2P}{dx^2} = 2a_2 + 6a_3x + 12a_4x^2 + 20a_5x^3 + 30a_6x^4 + 42a_7x^5 - 7(a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^6 \quad [4.15]$$

Aplicando as derivadas acima à função resíduo :

[4.16]

$$R(x, G_a, Pe) = \frac{1}{Pe} [2a_2 + 6a_3x + 12a_4x^2 + 20a_5x^3 + 30a_6x^4 + 42a_7x^5 - 7(a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^6] - [a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + 4a_4x^3 + 5a_5x^4 + 6a_6x^5 + 7a_7x^6 - (a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^7] - G_a \left[\left(1 + \frac{a_1}{Pe} \right) + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6 + a_7x^7 - \frac{1}{8}(a_1 + 2a_2 + 3a_3 + 4a_4 + 5a_5 + 6a_6 + 7a_7)x^8 \right]$$

- Queremos agora colocar a função resíduo em uma forma que possa receber os pontos de colocação, uma forma do tipo :

$$R(x) = Y_1(x) \cdot a_1 + Y_2(x) \cdot a_2 + Y_3(x) \cdot a_3 + Y_4(x) \cdot a_4 + Y_5(x) \cdot a_5 + Y_6(x) \cdot a_6 + Y_7(x) \cdot a_7 \quad [4.17]$$

Rearrmando a função resíduo temos que :

[4.18]

$$\begin{aligned}
 R(x, G_a, Pe) = & \left[-\frac{1}{Pe} \cdot 7x^6 - 1 + x^7 + \frac{x^8 \cdot G_a}{8} - x \cdot G_a - \frac{G_a}{Pe} \right] a_1 + \\
 & \left[2 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 14x^6 - 2x + 2x^7 - x^2 \cdot G_a + \frac{2 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_2 + \\
 & \left[6x \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 21x^6 - 3x^2 + 3x^7 - x^3 \cdot G_a + \frac{3 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_3 + \\
 & \left[12x^2 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 28x^6 - 4x^3 + 4x^7 - x^4 \cdot G_a + \frac{4 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_4 + \\
 & \left[20x^3 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 35x^6 - 5x^4 + 5x^7 - x^5 \cdot G_a + \frac{5 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_5 + \\
 & \left[30x^4 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 42x^6 - 6x^5 + 6x^7 - x^6 \cdot G_a + \frac{6 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_6 + \\
 & \left[42x^5 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 49x^6 - 7x^6 + 7x^7 - x^7 \cdot G_a + \frac{7 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] a_7 - G_a
 \end{aligned}$$

- A fim de facilitar o emprego da função resíduo à rede de hidrocraqueamento e reações de retirada de heteroátomos definiremos as seguintes funções :

$$C_1(x, G_a, Pe) = \left[-\frac{1}{Pe} \cdot 7x^6 - 1 + x^7 + \frac{x^8 \cdot G_a}{8} - x \cdot G_a - \frac{G_a}{Pe} \right] \quad [4.19]$$

$$C_2(x, G_a, Pe) = \left[2 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 14x^6 - 2x + 2x^7 - x^2 \cdot G_a + \frac{2 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.20]$$

$$C_3(x, G_a, Pe) = \left[6x \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 21x^6 - 3x^2 + 3x^7 - x^3 \cdot G_a + \frac{3 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.21]$$

$$C_4(x, G_a, Pe) = \left[12x^2 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 28x^6 - 4x^3 + 4x^7 - x^4 \cdot G_a + \frac{4 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.22]$$

$$C_5(x, G_a, Pe) = \left[20x^3 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 35x^6 - 5x^4 + 5x^7 - x^5 \cdot G_a + \frac{5 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.23]$$

$$C_6(x, G_a, Pe) = \left[30x^4 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 42x^6 - 6x^5 + 6x^7 - x^6 \cdot G_a + \frac{6 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.24]$$

$$C_7(x, G_a, Pe) = \left[42x^5 \cdot \frac{1}{Pe} - \frac{1}{Pe} \cdot 49x^6 - 7x^6 + 7x^7 - x^7 \cdot G_a + \frac{7 \cdot x^8 \cdot G_a}{8} \right] \quad [4.25]$$

$$C_8(x, G_a, Pe) = G_a \quad [4.26]$$

Os pontos de colocação serão simbolizados por : $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$. O que queremos agora é calcular os valores de ($a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$), pois assim teremos o polinômio de ajuste que descreverá o comportamento da concentração ao longo do reator. Para calcularmos estes termos utilizaremos a equação a seguir :

[4.27]

$$\begin{bmatrix} C_1(x_1, G_a, Pe) & C_2(x_1, G_a, Pe) & C_3(x_1, G_a, Pe) & C_4(x_1, G_a, Pe) & C_5(x_1, G_a, Pe) & C_6(x_1, G_a, Pe) & C_7(x_1, G_a, Pe) \\ C_1(x_2, G_a, Pe) & C_2(x_2, G_a, Pe) & C_3(x_2, G_a, Pe) & C_4(x_2, G_a, Pe) & C_5(x_2, G_a, Pe) & C_6(x_2, G_a, Pe) & C_7(x_2, G_a, Pe) \\ C_1(x_3, G_a, Pe) & C_2(x_3, G_a, Pe) & C_3(x_3, G_a, Pe) & C_4(x_3, G_a, Pe) & C_5(x_3, G_a, Pe) & C_6(x_3, G_a, Pe) & C_7(x_3, G_a, Pe) \\ C_1(x_4, G_a, Pe) & C_2(x_4, G_a, Pe) & C_3(x_4, G_a, Pe) & C_4(x_4, G_a, Pe) & C_5(x_4, G_a, Pe) & C_6(x_4, G_a, Pe) & C_7(x_4, G_a, Pe) \\ C_1(x_5, G_a, Pe) & C_2(x_5, G_a, Pe) & C_3(x_5, G_a, Pe) & C_4(x_5, G_a, Pe) & C_5(x_5, G_a, Pe) & C_6(x_5, G_a, Pe) & C_7(x_5, G_a, Pe) \\ C_1(x_6, G_a, Pe) & C_2(x_6, G_a, Pe) & C_3(x_6, G_a, Pe) & C_4(x_6, G_a, Pe) & C_5(x_6, G_a, Pe) & C_6(x_6, G_a, Pe) & C_7(x_6, G_a, Pe) \\ C_1(x_7, G_a, Pe) & C_2(x_7, G_a, Pe) & C_3(x_7, G_a, Pe) & C_4(x_7, G_a, Pe) & C_5(x_7, G_a, Pe) & C_6(x_7, G_a, Pe) & C_7(x_7, G_a, Pe) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_8(x_1, G_a, Pe) \\ C_8(x_2, G_a, Pe) \\ C_8(x_3, G_a, Pe) \\ C_8(x_4, G_a, Pe) \\ C_8(x_5, G_a, Pe) \\ C_8(x_6, G_a, Pe) \\ C_8(x_7, G_a, Pe) \end{bmatrix}$$

Calculamos assim os valores de ($a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$) e com isto determina-se o polinômio $P(x)$.

Observando as equações descritas para os pseudocomponentes do resíduo do petróleo em um reator tubular com dispersão axial segundo a rede cinética considerada e aplicando os argumentos acima a cada equação, podemos obter facilmente que :

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

$$G_a = \frac{L}{U} (k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5) \quad [4.28]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_{Ah}} \quad [4.29]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a \quad [4.30]$$

PARA AROMÁTICOS LEVES :

$$G_a = \frac{L}{U} k_9 \quad [4.31]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_{Al}} \quad [4.32]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a - \frac{L}{U} k_2 \frac{Ah_o}{Al_o} \cdot P_{Ah}(x_n) \quad [4.33]$$

PARA PARAFINAS PESADAS :

$$G_a = \frac{L}{U} k_8 \quad [4.34]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_{Ph}} \quad [4.35]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a - \frac{L}{U} k_3 \frac{Ah_o}{Ph_o} \cdot P_{Ah}(x_n) \quad [4.36]$$

PARA NAFTENICOS LEVES :

$$G_a = \frac{L}{U} k_{10} \quad [4.37]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_{Nl}} \quad [4.38]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a - \frac{L}{U} k_5 \frac{Ah_o}{Nl_o} \cdot P_{Ah}(x_n) - \frac{L}{U} k_9 \frac{Al_o}{Nl_o} \cdot P_{Al}(x_n) - \frac{L}{U} k_6 \frac{Nh_o}{Nl_o} \cdot P_{Nh}(x_n) \quad [4.39]$$

PARA NAFTENICOS PESADOS :

$$G_a = \frac{L}{U} (k_6 + k_7) \quad [4.40]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_{Nh}} \quad [4.41]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a - \frac{L}{U} k_1 \frac{Ah_o}{Nh_o} \cdot P_{Ah}(x_n) \quad [4.42]$$

PARA PARAFINAS LEVES :

$$G_a = 0 \quad [4.43]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_H} \quad [4.44]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a - \frac{L}{U} k_4 \frac{Ah_o}{No} \cdot P_{Ah}(x_n) - \frac{L}{U} k_{10} \frac{No}{Pl_o} \cdot P_N(x_n) - \frac{L}{U} k_7 \frac{Nb_o}{Pl_o} \cdot P_{Nb}(x_n) - \frac{L}{U} k_8 \frac{Ph_o}{Pl_o} \cdot P_H(x_n) \quad [4.45]$$

PARA NITROGENADOS :

$$G_a = \frac{L}{U} (\rho_{bulk} \cdot k_{hdn}) \quad [4.46]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_N} \quad [4.47]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a \quad [4.48]$$

PARA OXIGENADOS :

$$G_a = \frac{L}{U} (\rho_{bulk} \cdot k_{hdo}) \quad [4.49]$$

$$Pe = \frac{UL}{D_O} \quad [4.50]$$

$$C_8(x_n, G_a, Pe) = G_a \quad [4.51]$$

4.2 - Análise dimensional dos modelos propostos

Reação não catalítica em reator tubular com dispersão axial :

$$\frac{D_{AM}}{U} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{r_A}{U} = 0 \quad [4.52]$$

$$[D_{AM}] = \text{m}^2 / \text{h}, [U] = \text{m} / \text{h}, [Z] = \text{m}, [C_A] = \text{Mol} / \text{m}^3, r_A = kC_A, [k] = 1 / \text{h}$$

Reação catalítica em reator tubular com dispersão axial :

$$\frac{D_{AM}}{U} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{\rho_{bulk} \hat{r}_A}{U} = 0 \quad [4.53]$$

$$[\rho_{bulk}] = \text{Kg}_{cat.} / \text{m}^3, \hat{r}_A = \dot{k} C_A, [\dot{k}] = \text{m}^3 / (\text{h Kg}_{cat.})$$

Reação não catalítica em cstr :

$$FC_{Ao} + V r_A = FC_A \quad [4.54]$$

$$[F] = \text{m}^3 / \text{h}, [V] = \text{m}^3, r_A = kC_A, [k] = 1/\text{h}$$

Reação catalítica em cstr :

$$FC_{Ao} + W \hat{r}_A = FC_A \quad [4.55]$$

$$[W] = \text{Kg}_{cat.}, \hat{r}_A = \dot{k} C_A, [\dot{k}] = \text{m}^3 / (\text{h Kg}_{cat.})$$

4.3 - COMPORTAMENTO DE UMA REAÇÃO CONTROLADA POR DIFUSÃO EM UM REATOR TUBULAR COM DISPERSÃO AXIAL

Uma vez que tudo que ultrapassa a barreira de transferência de massa para o catalisador reage, a equação do reator tubular com dispersão axial se torna.

$$\frac{D_A}{U} \frac{d^2 A}{dz^2} - \frac{dA}{dz} - \frac{ka\rho_{bulk}(A_L - A_S)}{U} = 0 \quad [4.56]$$

Definindo as variáveis adimensionais :

$$\Psi = A_L / A_{Lo} \quad , \quad \lambda = z / L \quad [4.57, 4.58, \text{Respectivamente}]$$

$$dA_L = A_{Lo} d\Psi \quad , \quad dz = L d\lambda \quad [4.59, 4.60, \text{Respectivamente}]$$

Aplicando à equação :

$$\frac{dA_L}{dz} = \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d\Psi}{d\lambda} \rightarrow \frac{d^2 A_L}{dz^2} = \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d(d\Psi/d\lambda)}{dz} \rightarrow \frac{d^2 A_L}{dz^2} = \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d(d\Psi/d\lambda)}{L d\lambda} \rightarrow \frac{d^2 A_L}{dz^2} = \frac{A_{Lo}}{L^2} \frac{d(d\Psi/d\lambda)}{d\lambda} = \frac{A_{Lo}}{L^2} \frac{d^2 \Psi}{d\lambda^2} \quad [4.61]$$

Uma vez que tudo que ultrapassa a barreira de transferência de massa do catalisador reage :

$$ka(A_L - A_S) = \eta k_{cin.} A_S \quad [4.62]$$

$$A_S = \frac{ka A_L}{(\eta k_{cin.} + ka)} \quad [4.63]$$

Definindo :

$$\Psi_S = A_S / A_{So} \quad [4.64] \quad \Psi_S A_{So} = \frac{ka A_{Lo} \Psi}{(\eta k_{cin.} + ka)} \quad [4.65]$$

Substituindo na equação do reator tubular :

$$\frac{D_A}{U} \frac{A_{Lo}}{L^2} \frac{d^2\Psi}{d\lambda^2} - \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d\Psi}{d\lambda} - \frac{(k\rho_{bulk})}{U} (A_{Lo}\Psi - A_{So}\Psi_S) = 0 \quad [4.66]$$

$$\frac{D_A}{U} \frac{A_{Lo}}{L^2} \frac{d^2\Psi}{d\lambda^2} - \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d\Psi}{d\lambda} - \frac{(k\rho_{bulk})}{U} \left(A_{Lo}\Psi - \frac{kaA_{Lo}\Psi}{(\eta k_{cin.} + ka)} \right) = 0 \quad [4.67]$$

$$\frac{D_A}{U} \frac{A_{Lo}}{L^2} \frac{d^2\Psi}{d\lambda^2} - \frac{A_{Lo}}{L} \frac{d\Psi}{d\lambda} - \frac{(k\rho_{bulk})}{U} A_{Lo} \left(1 - \frac{ka}{(\eta k_{cin.} + ka)} \right) \Psi = 0 \quad [4.68]$$

Multiplicando a equação acima por (L / A_{Lo}) e fazendo $Pe = (UL / D_A)$ temos que :

$$\frac{D_A}{UL} \frac{d^2\Psi}{d\lambda^2} - \frac{d\Psi}{d\lambda} - \frac{L}{U} (k\rho_{bulk}) \left[1 - \frac{ka}{(\eta k_{cin.} + ka)} \right] \Psi = 0 \quad [4.69]$$

Sendo o número de Damkohler para o sistema considerado :

$$G_a = \frac{L}{U} (k\rho_{bulk}) \left[1 - \frac{ka}{(\eta k_{cin.} + ka)} \right] \quad [4.70]$$

4.4 - COMPORTAMENTO CINÉTICO DE UMA REAÇÃO CONTROLADA POR DIFUSÃO EM UM SISTEMA DE CSTR'S EM SÉRIE :

Fazendo o balanço de massa em um cstr ideal para uma reação catalítica controlada por difusão temos que :

$$FA_L^{n-1} - Vka\rho_{bulk}(A_L^n - A_S^n) = FA_L^n \quad [4.71]$$

Uma vez que tudo que passa pela barreira de transferência de massa do catalisador reage, temos que :

$$ka(A_L^n - A_S^n) = \eta k_{cin.} A_S^n \quad [4.72]$$

De onde obtemos que :

$$A_S^n = \frac{kaA_L^n}{(\eta k_{cin.} + ka)} \quad [4.73]$$

Substituindo na equação dos cstr's em série :

$$\frac{F}{V}(A_L^n - A_L^{n-1}) + ka\rho_{bulk}\left(A_L^n - \frac{ka}{(\eta k_{cin.} + ka)}A_L^n\right) = 0 \quad [4.74]$$

$$\frac{F}{V}(A_L^n - A_L^{n-1}) + ka\rho_{bulk}\left(1 - \frac{ka}{(\eta k_{cin.} + ka)}\right)A_L^n = 0 \quad [4.75]$$

De onde podemos deduzir que :

$$A_L^n = \frac{F/V}{\left[ka\rho_{bulk}\left(1 - \frac{ka}{\eta k_{cin.} + ka}\right) + \frac{F}{V}\right]} A_L^{n-1} \quad [4.76]$$

As condições que garantem a equivalência dos sistemas tubular e cstr's em série são :

$$V = A L \quad [4.77]$$

$$F = U A \quad [4.78]$$

$$\rho_{bulk} = W / V \quad [4.79]$$

$$A = \text{cte.}$$

Reações de Hidrodesulfurização (Controladas por Difusão) :

Balanço Para a Fase Líquida Considerando uma Série de CSTR's :

$$\frac{F}{V}(S_L^n - S_L^{n-1}) + (K_{LS}a_{LS})_S \rho_{bulk}(S_L^n - S_S^n) = 0 \quad [4.80]$$

Balanço Para a Fase Líquida Considerando Dispersão Axial em PFR :

$$D_S \frac{d^2 S_L}{dz^2} - U \frac{dS_L}{dz} - (K_{LS}a_{LS})_S \rho_{bulk}(S_L - S_S) = 0 \quad [4.81]$$

Balanço Para a Superfície do Catalizador :

$$(K_{LS}a_{LS})_S (S_L - S_S) = \eta_{hds} k_{hds} S_S \quad [4.82]$$

Reações de Hidrodemetalização (Controladas por Difusão) :

Balanço Para a Fase Líquida Considerando uma Série de CSTR's :

$$\frac{F}{V}(M_L^n - M_L^{n-1}) + (K_{LM}a_{LS})_M \rho_{bulk}(M_L^n - M_S^n) = 0 \quad [4.83]$$

Balanço Para a Fase Líquida Considerando Dispersão Axial em PFR :

$$D_M \frac{d^2 M_L}{dz^2} - U \frac{dM_L}{dz} - (K_{LM}a_{LS})_M \rho_{bulk}(M_L - M_S) = 0 \quad [4.84]$$

Balanço Para a Superfície do Catalizador :

$$(K_{LM}a_{LS})_M (M_L - M_S) = \eta_{hdm} k_{hdm} M_S \quad [4.85]$$

4.41 - CÁLCULO DO VOLUME DE FLUIDO PURO EM UM LEITO REACIONAL :

[4.86]

$$\text{Densidade do Leito} = \frac{\text{Massa de catalisador imersa no Volume Reacional}}{\text{Volume de toda massa reacional}}$$

[4.87]

$$\text{Densidade da partícula} = \frac{\text{Massa de uma Partícula de Catalisador}}{\text{Volume de uma partícula de catalisador}} = \frac{\sum (\text{Massa de todas as Partículas de Catalisador})}{\sum (\text{Volume de Todas as Partículas de Catalisador})}$$

Uma Vez Que :

[4.88]

$$\text{Massa de Catalisador imersa no Volume Reacional} = \sum (\text{Massa de Todas as Partículas de Catalisador})$$

Temos Que :

[4.89]

$$\text{Volume de Catalisador no Meio} = \frac{\text{Densidade do Leito}}{\text{Densidade da Partícula}} \cdot \text{Volume Reacional Total}$$

[4.90]

$$\text{Volume de Fluido Puro} = \text{Volume Reacional Total} - \text{Volume de Catalisador na Solução.}$$

$$V_{\text{Fluido Puro}} = V_{\text{Reacional Total}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{Leito}}}{\rho_{\text{Partícula}}} \right) \quad [4.91]$$

Para Leito Expandido é Fácil Notar Que :

$$V_{\text{Fluido Puro}} = V_{\text{Do leito}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{Leito}}}{\rho_{\text{Partícula}}} \right) + V_{\text{Expandido.}} \quad [4.92]$$

4.5 - CORRELAÇÕES UTILISADAS NA SIMULAÇÃO DO REATOR [14], [15] :

- Com o Objetivo de Calcular a Difusividade no Sistema de Dispersão Axial Podemos Utilizar a Seguinte Correlação :

$$D_a = \mathfrak{I}_{ab} + \frac{1}{48} \frac{u^2 R^2}{\mathfrak{I}_{ab}} \quad [15] \quad [4.93] \quad \text{Com :} \quad \mathfrak{I}_{ab} = \frac{kT}{6\pi\mu_{solv.}} \quad [15] \quad [4.94]$$

$$\text{Desde Que :} \quad \frac{L}{R} > \frac{uR}{8 \cdot \mathfrak{I}_{ab}} \quad [15] \quad [4.95]$$

Onde :

$$R \text{ é o Raio Hidraulico para Escoamento Anular : } R = R_H = (D - d) / 4. \quad [4.96]$$

D é o Diâmetro externo, d é o Diâmetro interno.

\mathfrak{I}_{ab} é a difusividade molecular do componente na mistura.

k é a constante de Boltzmann

r é o raio médio das molécula

T é a temperatura absoluta.

u é a velocidade média do escoamento.

$\mu_{solv.}$ é a viscosidade da mistura

L é o comprimento do reator tubular.

D_a é a difusividade efetiva.

- Uma Vez Que Na Mistura o raio médio das moléculas de cada componentes pode ser considerado aproximadamente igual, podemos dizer que $D_a = \text{cte}$. Para Qualquer Componente 'a'.

- As correlações para Transferência de Massa Podem Ser Dadas Por :

$$K_s = 0.31 \cdot \frac{\left[\frac{(\rho_P - \rho_L)\mu_L g}{\rho_L^2} \right]^{1/3}}{\left[\frac{\mu_L}{\rho_L \mathfrak{I}_{ab}} \right]^{2/3}} \quad [14] \quad [4.97] \quad \text{e} \quad a_s = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_p} \quad [14] \quad [4.98]$$

Onde :

ρ_P é a densidade da partícula de catalisador.

ρ_L é a densidade do fluido.

μ_L é a viscosidade do fluido

g é a aceleração da gravidade.

ε é a porosidade do catalizador.

d_p é o diâmetro da partícula.

a_s é a área externa da partícula.

K_s é o coeficiente de transferência de massa para as partículas.

4.6 - O PROBLEMA DA EFETIVIDADE [14] :

Em um catalisador poroso o coeficiente local de difusividade efetiva é dado por :

$$D_e = \frac{D_{mol}}{\tau} \left\{ \varepsilon_M \left[1 - (r_{mol}/r_M) \right]^4 + \varepsilon_m \left[1 - (r_{mol}/r_m) \right]^4 \right\} \quad [4.99]$$

Para poros cilíndricos podemos utilizar as seguintes relações para a variação das macro e micro porosidades com os raios dos macro e micro poros :

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^o \left(r_i / r_i^o \right)^2 \quad i = M, m. \quad [4.100]$$

A taxa local de reação por volume de catalisador é dada como função da taxa de demetalização como sendo :

$$\mathfrak{R} = 2 \left[\frac{\varepsilon_M}{r_M} + \frac{\varepsilon_m}{r_m} \right] g(c) \quad [4.101]$$

$$\text{Sendo : } g(c) = kc \quad [k] = \text{m/s} \quad [4.102]$$

O balanço de massa isotérmico dentro da partícula de catalisador é dado por :

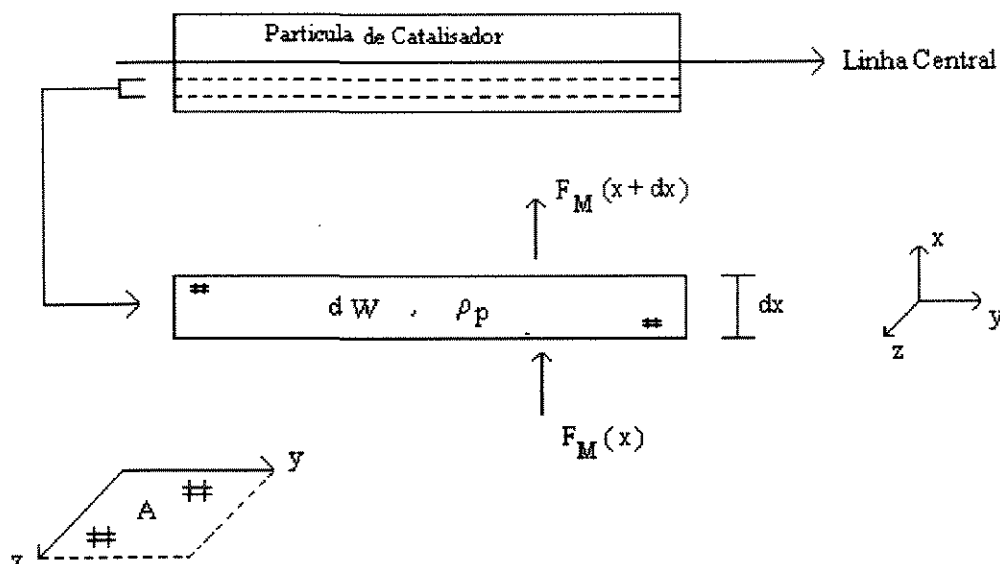


Fig.: 4.1

$$F_M(x) + \hat{r}_M dW = F_M(x + dx) \quad [4.103]$$

$$dW = \rho_p dV = \rho_p A dx \quad [4.104]$$

$$dF_M = \hat{r}_M \rho_p A dx \quad [4.105]$$

$$F_M = -A \cdot D_e \cdot \frac{dC_M}{dx} \quad [4.106]$$

$$\frac{dF_M}{dx} = \frac{d \left[-A \cdot D_e \cdot \frac{dC_M}{dx} \right]}{dx} = \hat{r}_M \rho_p A, \quad [4.107]$$

$$\hat{r}_M = -\hat{k}_{hdm} C_M \quad [4.108]$$

$$\frac{d \left[D_e \frac{dC_M}{dx} \right]}{dx} = \rho_p \hat{k}_{hdm} C_M, \quad [\hat{k}_{hdm}] = \frac{m^3}{Kg_{cat} \cdot s} \quad [4.109]$$

Podemos escrever que :

$$\hat{k}_{hdm} \cdot \rho_p = 2 \left[\frac{\varepsilon_M}{r_M} + \frac{\varepsilon_m}{r_m} \right] k_{hdm}, \quad [k_{hdm}] = \frac{m}{s} \quad [4.110]$$

O que nos permite escrever :

$$\frac{d}{dx} \left[D_e \cdot \frac{dC_M}{dx} \right] = \Re \quad [4.111]$$

Com as seguintes condições de contorno :

$$\left. \frac{dc}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad c(L_D) = c_o \quad [4.112]$$

Sendo L_D o comprimento do caminho difusional.

C_o a concentração de metais na superfície.

$L_D = (\text{Volume do grão de catalisador}) / (\text{Área externa do grão})$.

Estudo de como a deposição metálica influi na variação do diâmetro dos poros cilíndricos do catalisador :

$$V = \pi r^2 L_D, \quad dV = 2\pi \cdot r L_D dr \quad [4.113, 4.114, \text{Respectivamente}]$$

Considerando $(2\pi r L_D)$ [4.115] como a área onde ocorrerá o depósito metálico (A_{dm}) .

$$dm = \rho_d \cdot dV, \quad dm = -A_{dm} \cdot \rho_d \cdot dr, \quad \frac{dm}{dt} = -\frac{A_{dm} \cdot \rho_d \cdot dr}{dt} \quad [4.116, 4.117, 4.118, \text{Respectivamente}]$$

Sendo ρ_d a densidade do material depositado. Considerando que tudo que reage forma depósito temos que a taxa de deposição por reação química pode ser quantificada como sendo :

$$\frac{dm}{dt} = A_{dm} \cdot k_{hdm} \cdot C_M \quad [4.119]$$

Logo :

$$\frac{dr}{dt} = -k_{hdm} \cdot \frac{C_M}{\rho_d} = -\frac{g(c)}{\rho_d} \quad [4.120]$$

Uma vez que esta equação é válida tanto para microporos quanto para macroporos podemos escrever :

$$\frac{dr_i}{dt} = k_{hdm} \cdot \frac{C_M}{\rho_d} = -\frac{g(c)}{\rho_d}, \quad \text{Com } r_i(t=0) = r_i^o, \quad i = M, m. \quad [4.121]$$

Com base em comparações experimentais podemos considerar que :

$$(\varepsilon_M / r_M) \ll (\varepsilon_m / r_m), \quad r_M / r_M^o \approx 1, \quad r_m \rightarrow 0, \quad r_m^o \ll r_M^o, \quad \varepsilon_M \approx \varepsilon_M^o$$

Definindo :

$$u = \frac{c}{c_o}, \quad \xi = \frac{x}{L_D}, \quad a = \frac{\varepsilon_M^o}{\varepsilon_m^o}, \quad f = \frac{r_m}{r_m^o} \quad [4.122, 4.123, 4.124, \text{Respectivamente}]$$

$$p = (1-b)^4, \quad h(u) = \frac{g(c)}{g(c_o)}, \quad b = \frac{r_{mol}}{r_m^o} \quad [4.125, 4.126, 4.127, \text{Respectivamente}]$$

$$\theta = \frac{g(c_o) \cdot t}{r_m^o \rho_d}, \quad \Phi^2 = \frac{2g(c_o) \tau L_D^2}{(a+p) c_o r_m^o D_{mol}} \quad [4.128, 4.129, 4.130, \text{Respectivamente}]$$

Substituindo estas variáveis no balanço de massa de catalisador chegamos a :

$$\frac{d}{d\xi} \left[\frac{a + f^2(1 - b/f)^4}{(a + p)} \cdot \frac{du}{d\xi} \right] = \Phi^2 fh(u) \quad , \quad \xi \in (0,1) \quad [4.131]$$

Com as seguintes condições de contorno :

$$\left. \frac{du}{d\xi} \right|_{\xi=0} = 0 \quad , \quad u(1) = 1 \quad [4.132]$$

Quanto a deposição dos metais podemos escrever que :

$$\frac{df}{d\theta} = -h(u) \quad , \quad \text{com : } f(0) = 1 \quad [4.133]$$

O fator de efetividade é dado por :

$$\eta = \frac{\text{Taxa media dentro do poro}}{\text{Taxa na superfície}} = \frac{\frac{1}{A_{ip}} \int \hat{r}_M(C_M) \cdot dA_{ip}}{\hat{r}_M(C_{Mo})} \quad [4.134]$$

A_{ip} a área interna do poro.

Sendo : $dA_{ip} = 2\pi \cdot r \cdot dx$, $dx = L_D d\xi$ [4.135, 4.136, Respectivamente]

$$\eta = \frac{\frac{1}{2\pi \cdot r_m^o \cdot L_D} \int_0^1 kC_M \cdot (2\pi \cdot r_m \cdot L_D) \cdot d\xi}{kC_o} = \frac{\int_0^1 \frac{r_m}{r_m^o} \cdot \frac{C_M}{C_o} \cdot d\xi}{1} = \int_0^1 f \cdot u \cdot d\xi \quad [4.137]$$

Uma outra forma é definindo :

$$\eta = \frac{1}{\Phi^2} \left[\frac{a + f^2(1 - b/f)^4}{(a + p)} \cdot \left. \frac{du}{d\xi} \right|_{\xi=1} \right] \quad [4.138]$$

Integrando a equação - 4.131 temos que :

$$\left[\frac{a + f^2(1 - b/f)^4}{(a + p)} \cdot \frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=1}^{\xi=0} = \int_0^1 \Phi^2 f u \, d\xi \quad [4.139]$$

De onde obtem-se facilmente que :

$$\eta = \int_0^1 f u \, d\xi \quad [4.140]$$

A resolução do modelo acima consiste apenas em calcular as funções ' f ' e ' u ', para podermos assim calcular a efetividade do catalisador.

O PROCEDIMENTO É O SEGUINTE :

Como já demonstramos o balanço de massa para o metal resulta em :

$$\left[\frac{a + f^2(1 - b/f)^4}{(a + p)} \cdot \frac{du}{d\xi} \right] = \Phi^2 f u \quad , \quad \xi \in (0,1) \quad [4.141]$$

Com as seguintes condições de contorno :

$$\frac{du}{d\xi} = 0 \quad , \quad p / \xi = 0 \quad [4.142]$$

$$u = 1 \quad , \quad p / \xi = 1 \quad [4.143]$$

Para a taxa de deposição do metal temos que :

$$\frac{df}{d\theta} = -u \quad [4.144]$$

Com a seguinte condição de contorno :

$$f = 1 \quad p / \theta = 0 \quad [4.145]$$

Assumindo a função 'u' como sendo do tipo :

$$u(\xi) \approx \sum_{i=0}^{\infty} \theta^i u_i(\xi) = u_o(\xi) + \theta u_1(\xi) + \theta^2 u_2(\xi) + \dots \quad [4.146]$$

Substituindo a equação acima na função deposição de metais e aplicando a sua condição de contorno temos :

$$f(\xi, \theta) \approx 1 - \theta u_o(\xi) - \frac{\theta^2}{2} u_1(\xi) \dots \quad [4.147]$$

Para $\theta \approx 0$ nós temos :

$$f(\xi, \theta) = 1, \quad u(\xi) = u_o(\xi), \quad [4.148, 4.149, \text{Respectivamente}]$$

$$\frac{d}{d\xi} \left[\frac{du_o(\xi)}{d\xi} \right] = \Phi^2 u_o(\xi) \quad [4.150]$$

A solução geral da equação acima é dada por :

$$u_o(\xi) = c_1 \cdot \sinh(\Phi \xi) + c_2 \cdot \cosh(\Phi \xi) \quad [4.151]$$

Aplicando as condições de contorno para a concentração do metal temos que :

$$\left. \frac{du_o}{d\xi} \right|_{\xi=0} = 0, \quad \text{Logo: } c_1 = 0 \quad [4.152, 4.153, \text{Respectivamente}]$$

$$u_o(1) = 1, \quad \text{Logo: } c_2 = \frac{1}{\cosh(\Phi)} \quad [4.154, 4.155, \text{Respectivamente}]$$

Com isto ficamos sabendo que :

$$u_o = \frac{\cosh(\Phi \xi)}{\cosh(\Phi)} \quad [4.156]$$

Com base nos argumentos acima podemos escrever que :

$$f(\xi) = 1 - \theta u_o \quad [4.157]$$

$$u(\xi) = u_o(\xi) + \theta u_1(\xi) \quad [4.158]$$

Substituindo :

$$\begin{aligned} & f(\xi) \\ & e \\ & \frac{d}{d\xi} \left[\frac{du_o}{d\xi} \right] = \Phi^2 u_o \end{aligned} \quad [4.159]$$

No balanço de massa para metal e rearrumando os termos temos que :

$$\frac{d^2 u_1}{d\xi^2} - \Phi^2 u_1 = q \cdot \frac{d^2 (u_o^2)}{d\xi^2} - \Phi^2 u_o^2, \text{ Sendo : } q = \frac{(1-b)^2(1+b)}{(a+p)} \quad [4.160, 4.161, \text{ Respectivamente}]$$

Uma vez que o termo u_o é conhecido podemos avaliar o segundo membro da equação como sendo :

$$q \cdot \frac{d^2 (u_o^2)}{d\xi^2} - \Phi^2 u_o^2 = \frac{(4\theta - 1)\Phi^2 \cosh(2\Phi\xi) - \Phi^2}{\cosh(2\Phi) + 1} \quad [4.162]$$

Pelo método da variação de parâmetros podemos deduzir que a solução para u_1 é dada por uma soma da solução homogênea $c_1 \sinh(\Phi\xi) + c_2 \cosh(\Phi\xi)$, com uma solução particular dada por : $\alpha \cosh(2\Phi\xi) + \beta$.

Tomando u_1 como sendo : $\alpha \cosh(2\Phi\xi) + \beta$ e substituindo na equação :

$$\frac{d^2 u_1}{d\xi^2} - \Phi^2 u_1 = q \cdot \frac{d^2 (u_o^2)}{d\xi^2} - \Phi^2 u_o^2, \text{ Sendo : } q = \frac{(1-b)^2(1+b)}{(a+p)} \quad [4.163, 4.164, \text{ Respectivamente}]$$

Chegamos a :

$$\frac{d^2 u_1}{d\xi^2} - \Phi^2 u_1 = 3\alpha\Phi^2 \cosh(2\Phi\xi) - \beta\Phi^2 \quad [4.165]$$

De onde , por comparação, podemos tirar os valores de α e β :

$$\alpha = \frac{\frac{1}{3}(4q-1)}{\cosh(2\Phi)+1} , \quad \beta = \frac{1}{\cosh(2\Phi)+1} \quad [4.166, 4.167, \text{Respectivamente}]$$

A solução para u_1 é então dada por :

$$u_1 = c_1 \sinh(\Phi\xi) + c_2 \cosh(\Phi\xi) + \frac{\frac{1}{3}(4q-1)}{\cosh(2\Phi)+1} \cosh(2\Phi\xi) + \frac{1}{\cosh(2\Phi)+1} \quad [4.168]$$

Aplicando as condições de contorno para o balanço do metal e rearrumando a equação resultante temos que :

$$u_1 = (1 - u_o(\xi)) \left[\frac{u_o(\xi)}{3} (1 - 4q) + \frac{2}{3} \frac{(1-q)}{\cosh^2(\Phi)} \right] \quad [4.169]$$

Podemos agora calcular a efetividade do catalisador com o tempo para a hidrodemetalização.

4.7 - O CASO DO ENXOFRE

Calculamos anteriormente a função que descreve a deposição de metal (f), uma vez que só as moléculas que contém metal possuem a capacidade de formar depósitos, a função f será a mesma para as moléculas que contém enxofre.

Com base nos argumentos anteriormente desenvolvidos, para os sulfurados, podemos escrever que :

$$\frac{d}{d\xi} \left[\frac{a + f^2(1 - b_{hds}/f)^4}{a + (1 - b_{hds})^4} \cdot \frac{dv}{d\xi} \right] = \Phi_{hds}^2 f v \quad [4.170]$$

Com as condições de contorno :

$$\left. \frac{dv}{d\xi} \right|_{\xi=0} = 0, \quad v(\xi=1) = 1 \quad [4.171, 4.172, \text{Respectivamente}]$$

Definindo :

$$\Psi = \left[\frac{a + f^2(1 - b_{hds}/f)^4}{a + (1 - b_{hds})^4} \right], \quad \text{Sendo } f = f(\theta) \quad [4.173]$$

Podemos fazer :

$$\Psi = \Psi[f(\xi, \theta)] = \Psi_0(\xi) + \Psi_1(\xi) \cdot \theta + \Psi_2(\xi) \cdot \frac{\theta^2}{2} + \dots \quad [4.174]$$

$$\Psi_0 = \Psi(\theta = 0) = 1, \quad \text{pois } f(\theta = 0) = 1 \quad [4.175]$$

$$\Psi_1 = \left. \frac{\partial \Psi[f(\xi, \theta)]}{\partial \theta} \right|_{\theta=0} = \left[\frac{d\Psi}{df} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta} \right]_{\theta=0} = \left[\frac{2 \cdot (1 + b_{hds}) \cdot (1 - b_{hds})^3}{a + (1 - b_{hds})^4} \right] \cdot (-u_o) \quad [4.176]$$

$$\begin{aligned}\Psi_2 &= \left. \frac{d[d\Psi/d\theta]}{d\theta} \right|_{\theta=0} = \frac{d}{d\theta} \left[\frac{d\Psi}{df} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta} \right]_{\theta=0} = \left[\frac{d[d\Psi/df]}{d\theta} \cdot \frac{\partial f}{\partial \theta} + \frac{d[\partial f/\partial \theta]}{d\theta} \cdot \frac{d\Psi}{df} \right]_{\theta=0} \\ &= \left[\frac{d^2\Psi}{df^2} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial \theta} \right)^2 + \frac{d\Psi}{df} \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2} \right]_{\theta=0}\end{aligned}\quad [4.177]$$

$$\Psi_2 = \left[\frac{2 \cdot (1 - b_{hds})^2 \cdot (1 + 2 \cdot b_{hds} + 3 \cdot b_{hds}^2)}{a + (1 - b_{hds})^4} \right] \cdot (-u_o)^2 + \left[\frac{2 \cdot (1 + b_{hds}) \cdot (1 - b_{hds})^3}{a + (1 - b_{hds})} \right] \cdot \left(-\frac{u_1}{2} \right) \quad [4.178]$$

Definiremos q_1 , q_2 e q_3 de modo que :

$$\Psi_1 = q_1 \cdot (-u_o) \quad [4.179]$$

$$\Psi_2 = q_2 \cdot u_o^2 + q_3 \cdot \left(-\frac{u_1}{2} \right) \quad [4.180]$$

Utilizando as equações acima nas equações (4.170 e 4.173) temos que :

$$\frac{d}{d\xi} \left[\left(1 - q_1 \cdot u_o(\xi) \cdot \theta + \left(q_2 \cdot u_o^2(\xi) - q_3 \cdot \frac{u_1(\xi)}{2} \right) \cdot \frac{\theta^2}{2} \right) \cdot \frac{dv}{d\xi} \right] \cong \Phi_{hds}^2 \left(1 - u_o(\xi) \cdot \theta - u_1(\xi) \cdot \frac{\theta^2}{2} \right) v \quad [4.181]$$

Assim como fizemos : $u(\xi, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(\xi) \cdot \theta^n$ [4.182] , faremos : $v(\xi, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n(\xi) \cdot \theta^n$ [4.183] ,

truncando a série em θ^2 .

Avaliando o termo $\frac{dv}{d\xi}$ e substituindo na equação (4.181) temos que :

$$\frac{d}{d\xi} \left[\frac{dv_o}{d\xi} + \left(\frac{dv_1}{d\xi} - q_1 \cdot u_o(\xi) \frac{dv_o}{d\xi} \right) \cdot \theta \right] \cong \Phi_{hds}^2 [v_o(\xi) + [v_1(\xi) - u_o(\xi)v_o(\xi)] \cdot \theta] \quad [4.184]$$

De onde podemos tirar que :

$$\frac{d^2 v_o(\xi)}{d\xi^2} = \Phi_{hds}^2 \cdot v_o(\xi) \quad [4.185]$$

$$\frac{d^2 v_1(\xi)}{d\xi^2} = \Phi_{hds}^2 [v_1(\xi) - u_o(\xi)v_o(\xi)] + q_1 \cdot \left[u_o(\xi) \frac{d^2 v_o(\xi)}{d\xi^2} + \frac{du_o(\xi)}{d\xi} \cdot \frac{dv_o(\xi)}{d\xi} \right] \quad [4.186]$$

Com as seguintes condições de contorno :

$$\text{Em } \xi = 1 : v_o = 1 \text{ e } v_1 = 0 \quad [4.187, 4.188, \text{Respectivamente}]$$

$$\text{Em } \xi = 0 : \frac{dv_o}{d\xi} = 0 \text{ e } \frac{dv_1}{d\xi} = 0 \quad [4.189, 4.190, \text{Respectivamente}]$$

De onde se pode, não muito facilmente, calcular as expressões para v_o e v_1 .

$$v_o(\xi) = \frac{\cosh(\Phi_{hds}\xi)}{\cosh(\Phi_{hds})} \quad [4.191]$$

$$v_1(\xi) = \frac{\Phi_{hds} [2 \cdot \Phi_{hds}^2 \cdot (2 \cdot q_{hds} - 1) - 2 \cdot \Phi_{hdm}^2 \cdot q_{hds}]}{\Phi_{hdm} \cdot [4 \cdot \Phi_{hds}^2 - \Phi_{hdm}^2]} \cdot \left[\frac{\sinh(\Phi_{hdm}\xi)}{\cosh(\Phi_{hdm})} \cdot \frac{\sinh(\Phi_{hds}\xi)}{\cosh(\Phi_{hds})} - v_o(\xi) \cdot \tanh(\Phi_{hdm}) \cdot \tanh(\Phi_{hds}) \right] + \quad [4.192]$$

$$\frac{\Phi_{hds}^2 (2 \cdot q_{hds} + 1)}{4 \cdot \Phi_{hds}^2 - \Phi_{hdm}^2} \cdot v_o(\xi) \cdot [u_o(\xi) - 1] \quad , \quad q_{hds} = \frac{(1 + b_{hds}) \cdot (1 - b_{hds})^2}{a + (1 - b_{hds})^4}$$

Temos agora a função v e assim podemos saber o efeito da efetividade do catalisador sobre a hidrodessulfurização.

Observe que para podermos calcular a efetividade do catalisador nos dois casos é necessário conhecer a concentração média da espécie no sistema, no entanto a concentração média só pode ser obtida a partir da efetividade, o que sugere um problema iterativo.

Descrição do problema iterativo :

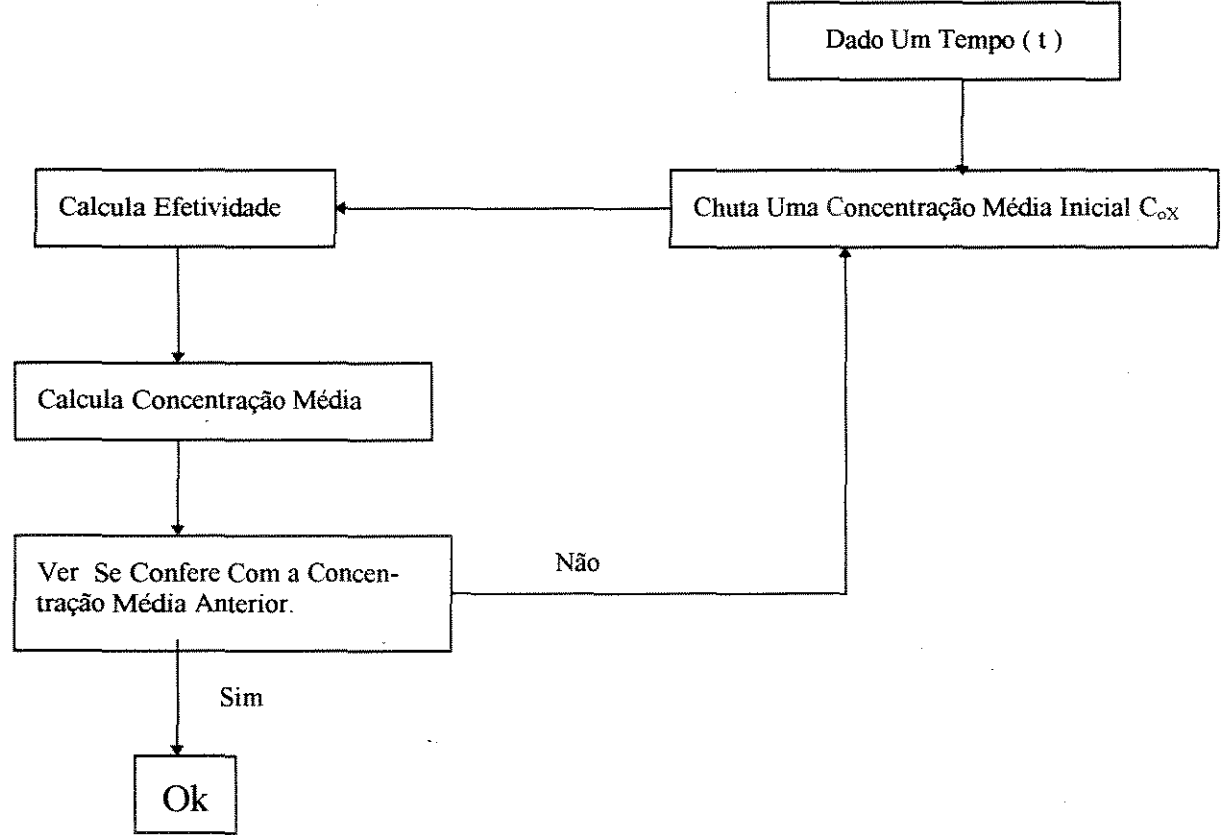


Fig.: 4.2

CAPÍTULO - 5

RESULTADOS.

“ A ciência é a flor que
não murchará jamais “
- De Montaigner -

5.1 - TESTE DO MODELO

A fim de avaliar a confiabilidade dos programas construídos com o objetivo de modelar o comportamento cinético das redes apresentadas nos sistemas série de cstr's ideais e reator tubular com dispersão axial, foram feitas duas comparações que são apresentadas a seguir.

Uma vez que a solução para o problema das redes no reator tubular com dispersão axial não é uma solução exata mas sim uma aproximação por colocação, é esperada uma leve discordância entre os dois comportamentos nas situações que se segue onde deveriam ser iguais.

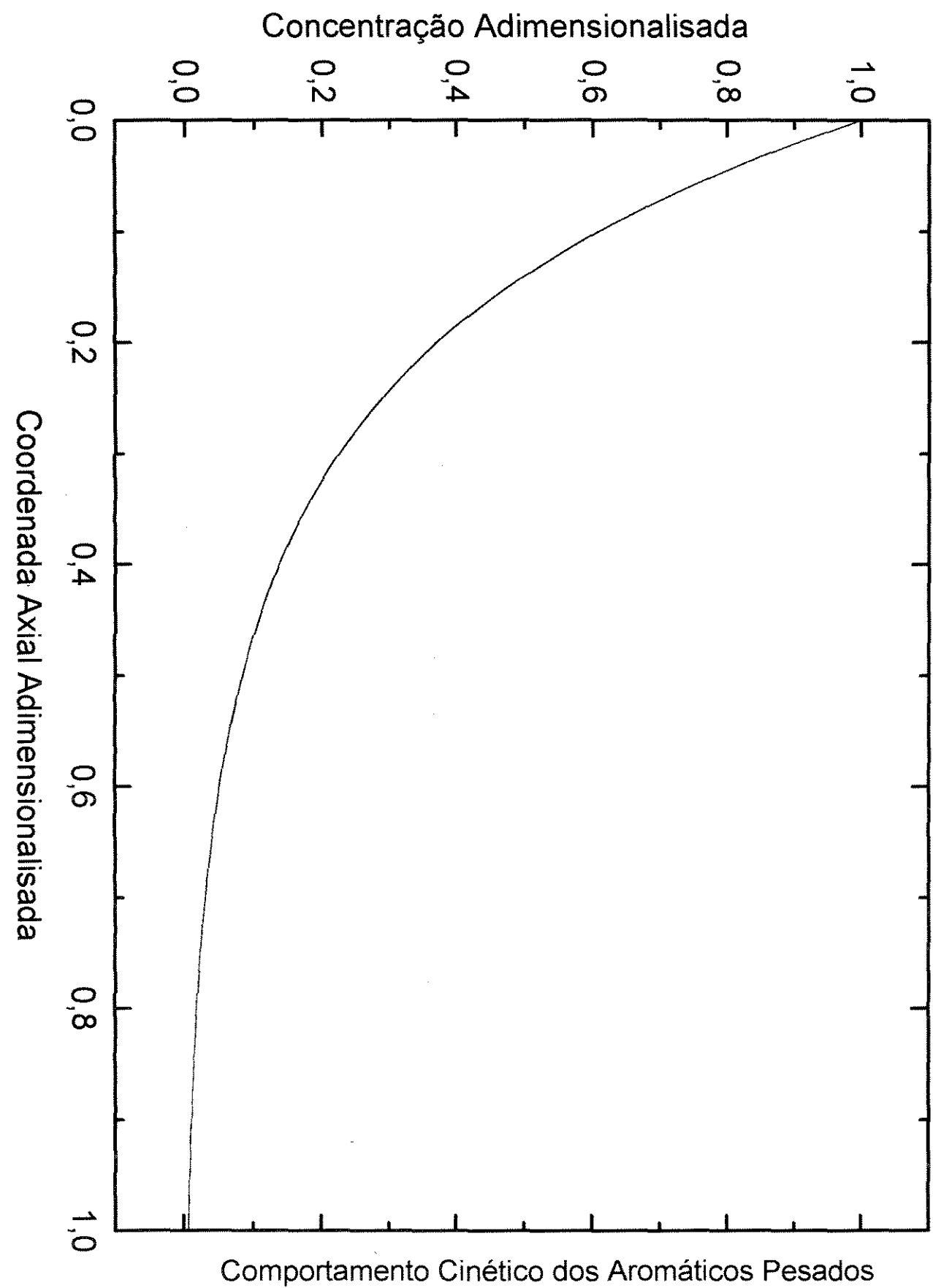
As concentrações iniciais e parâmetros de dispersão foram arbitrados, mas isto em nada altera a generalidade do teste.

As comparações efetuadas são feitas para dois casos; o primeiro considerando a difusividade axial tendendo para zero, o que corresponde ao caso de um reator tubular sem dispersão axial ou a uma série de infinitos cstr's ideais, uma vez que os sistemas se equivalem seus resultados devem ser iguais ou razoavelmente próximos. A segunda comparação é feita considerando-se a difusividade axial tendendo ao infinito, o que corresponde ao caso do sistema reacional estar atuando em um reator tubular com difusividade axial infinita ou em um cstr ideal. Uma vez que estes dois sistemas se equivalem é esperado que seus resultados sejam bastante próximos.

As comparações são efetuadas para cada espécie química que compõe o resíduo, seja o processo térmico, catalítico não controlado por difusão ou catalítico controlado por difusão.

1º COMPARAÇÃO :

$$\left[D_A \rightarrow 0, N \rightarrow \infty \right] \Leftrightarrow \left[Pe \rightarrow \infty, N \rightarrow \infty \right]$$



Comportamento Cinético dos Aromáticos Pesados

Fig.:5.01

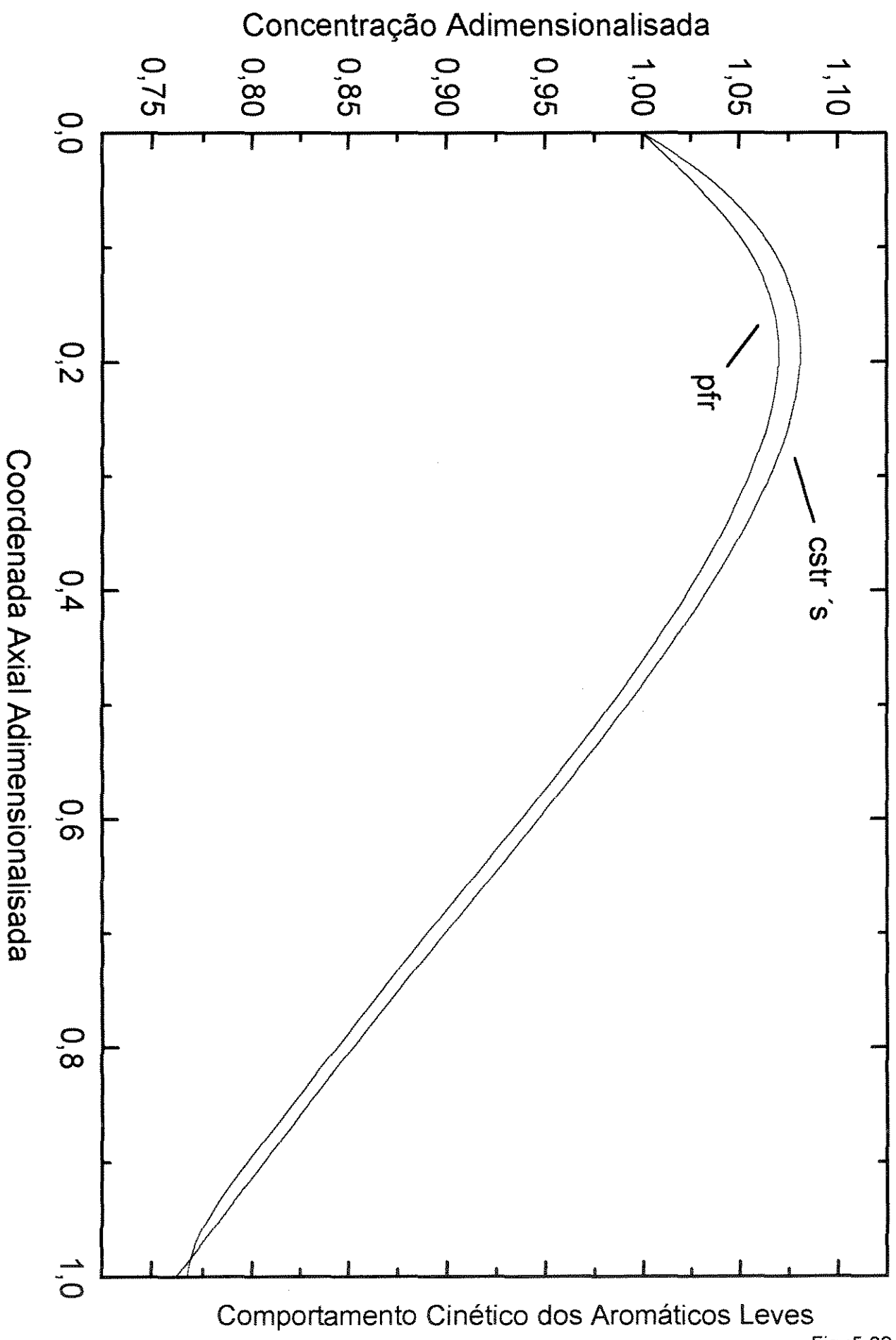


Fig.:5.02

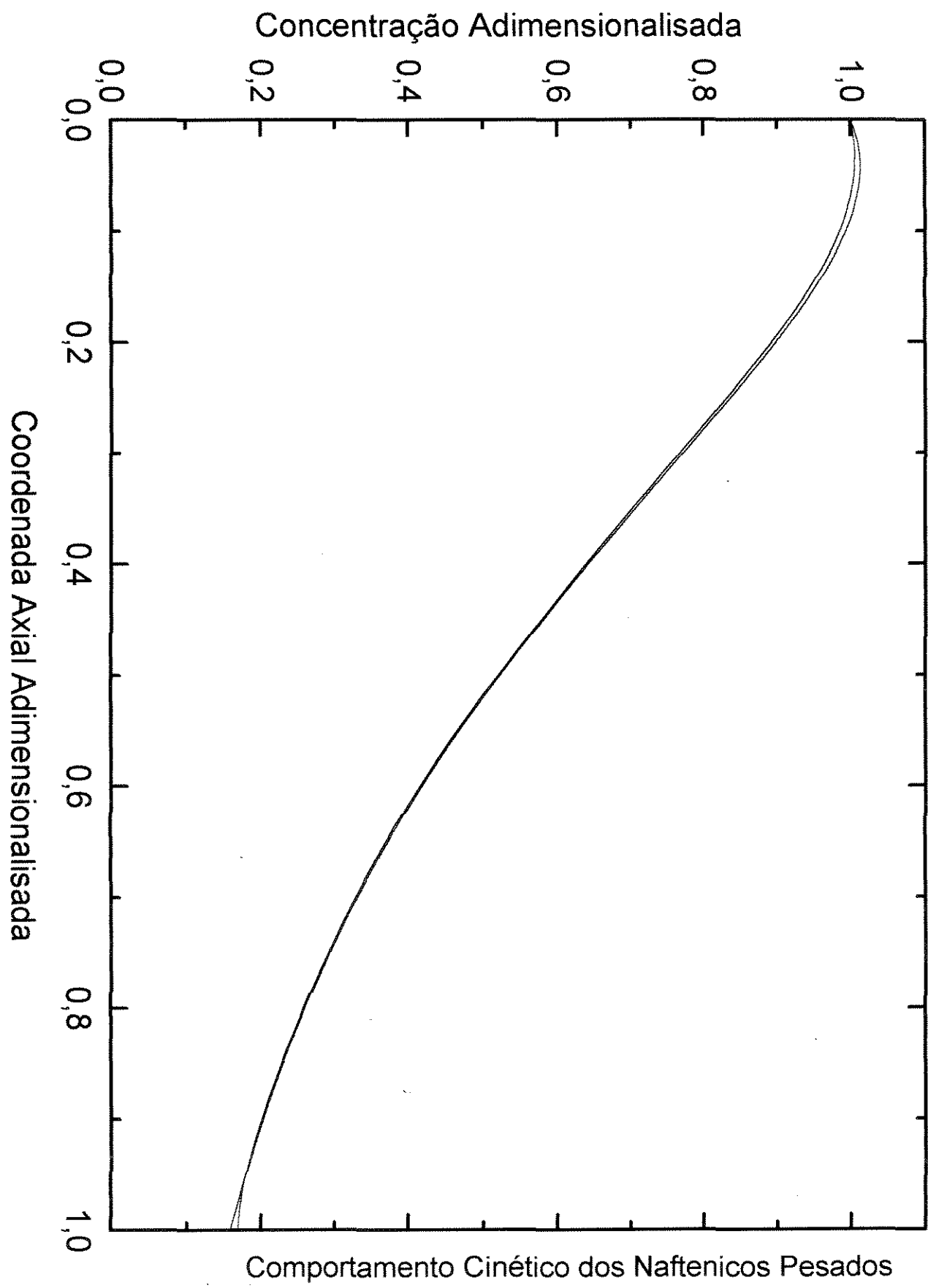


Fig.:5.03

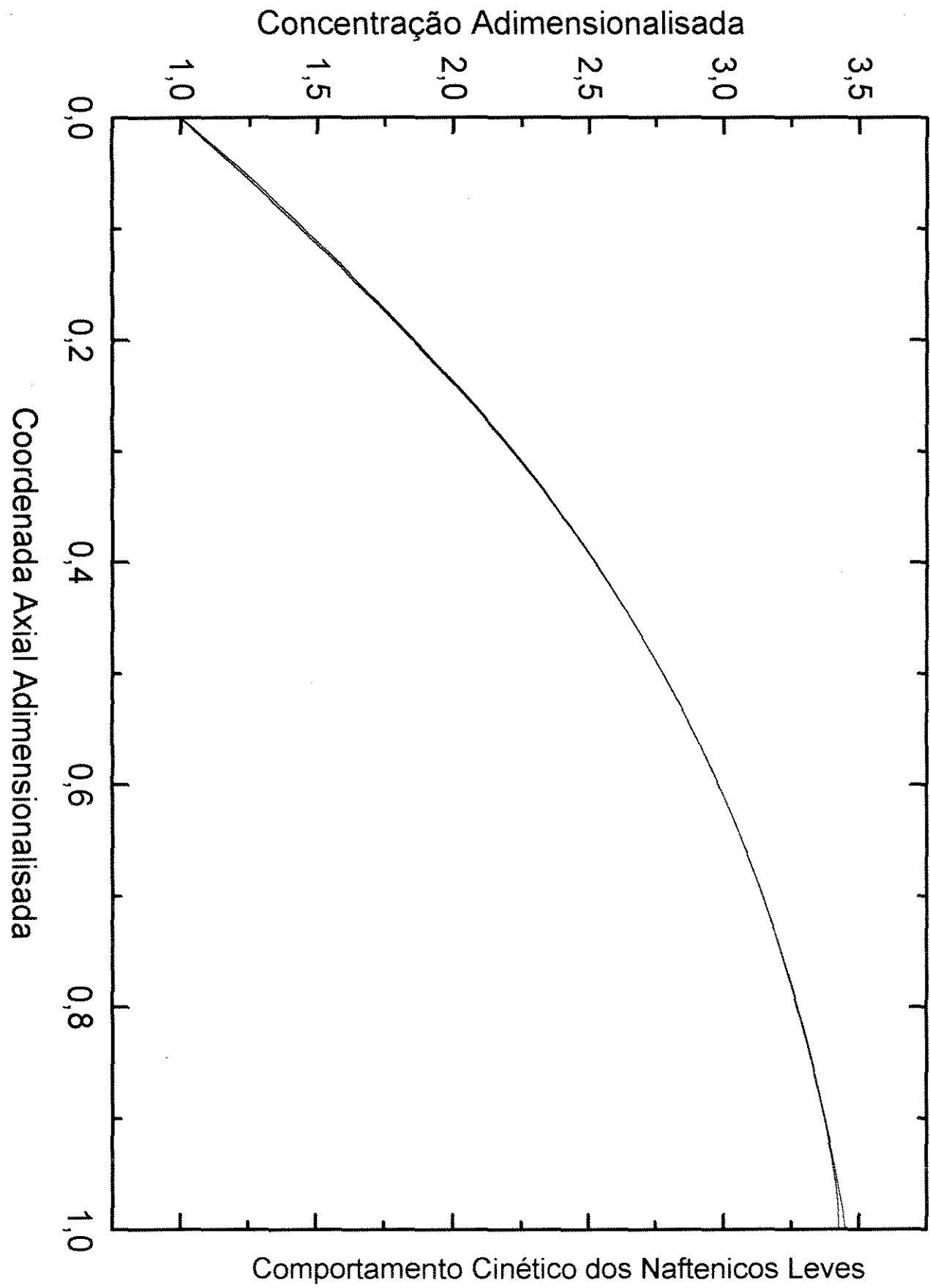
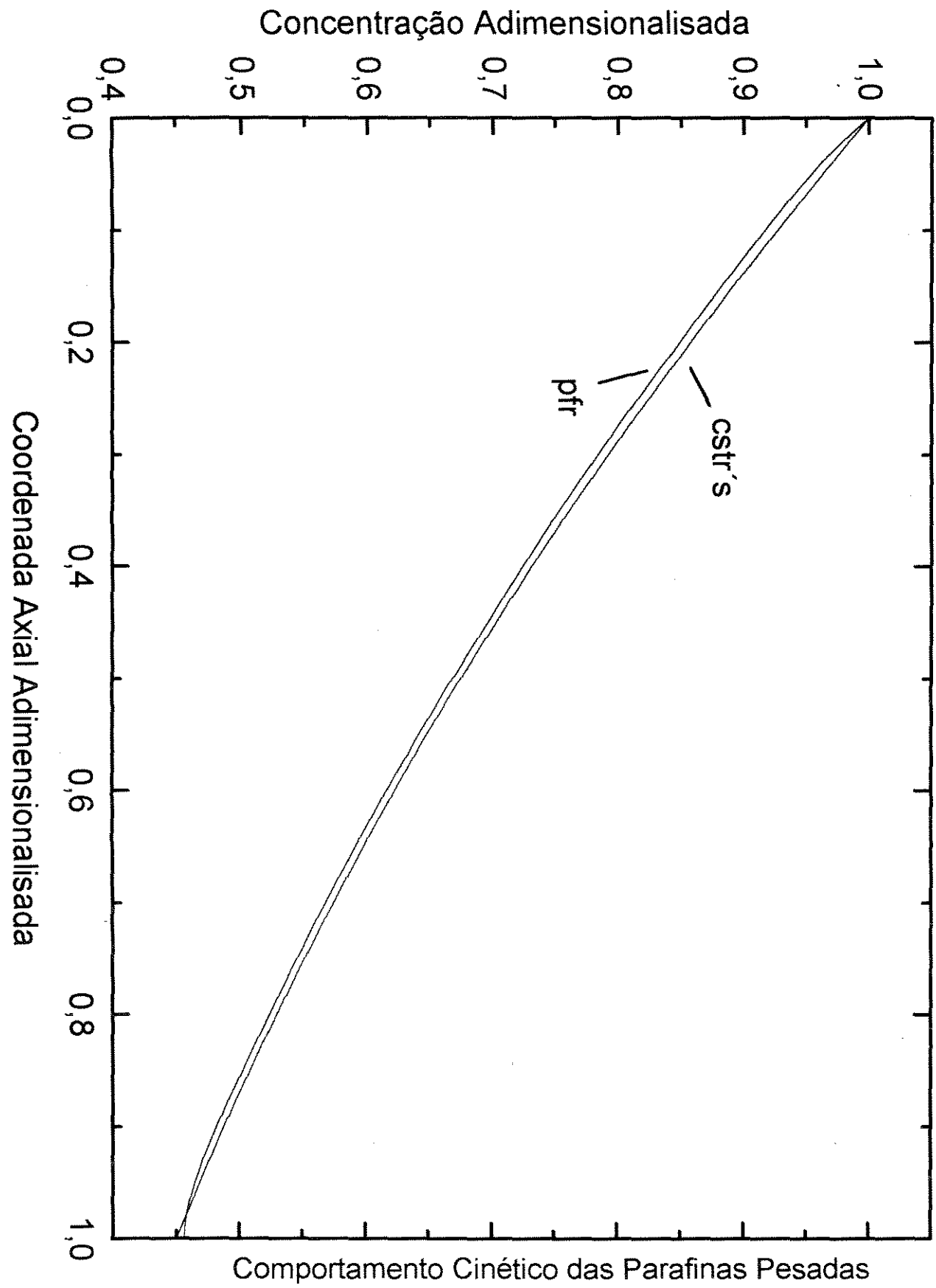


Fig.:5.04



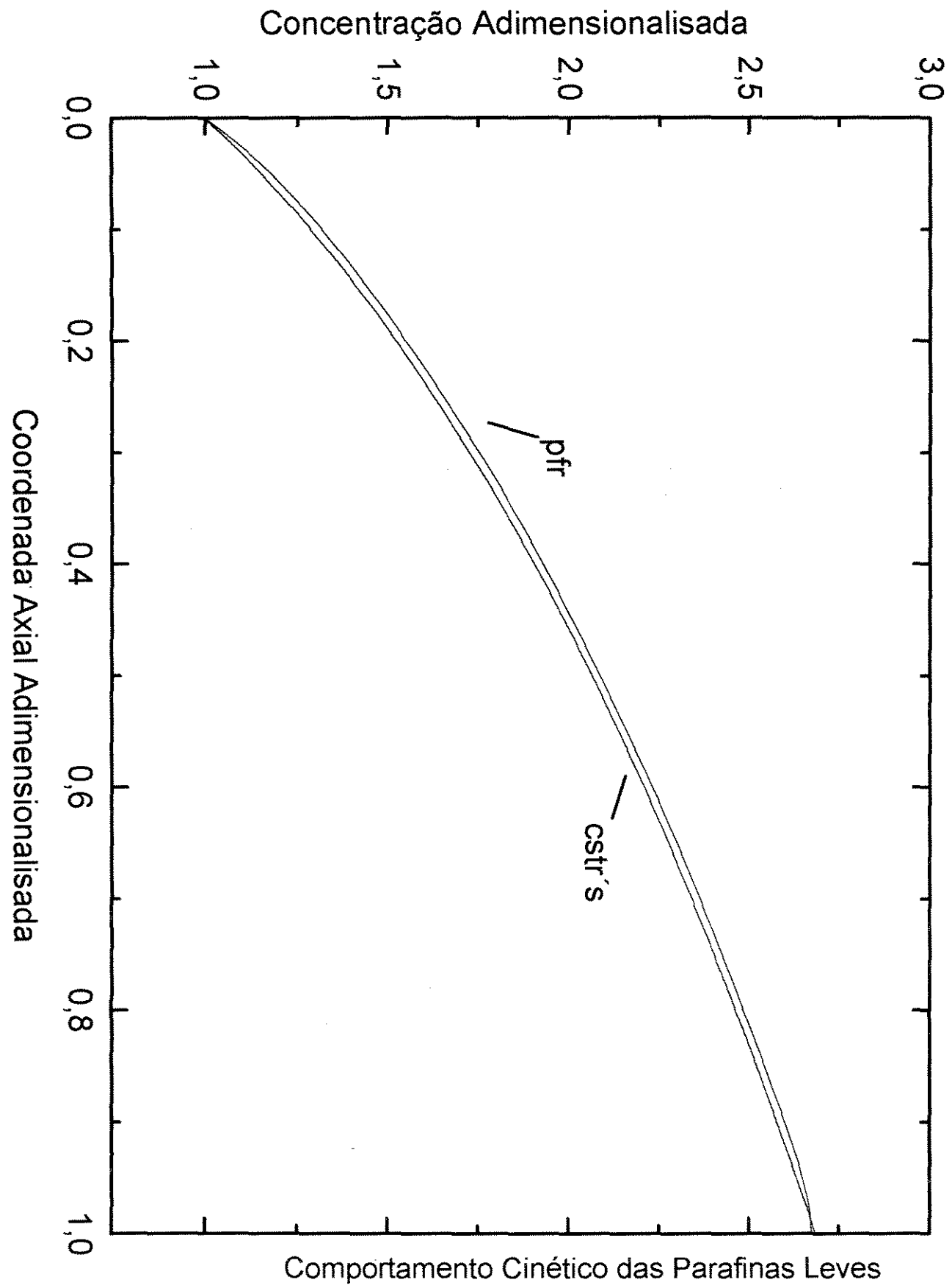


Fig.:5.06

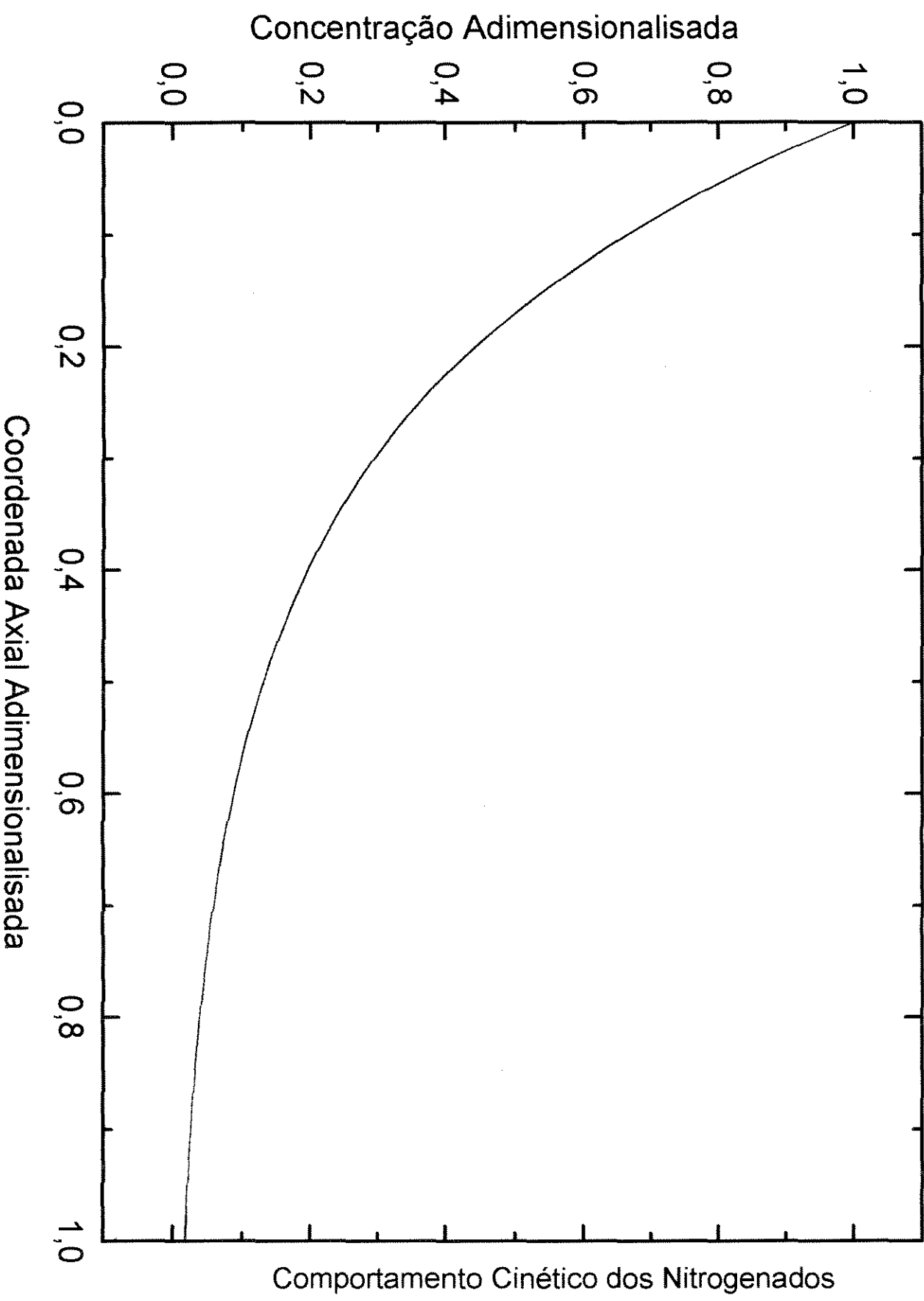
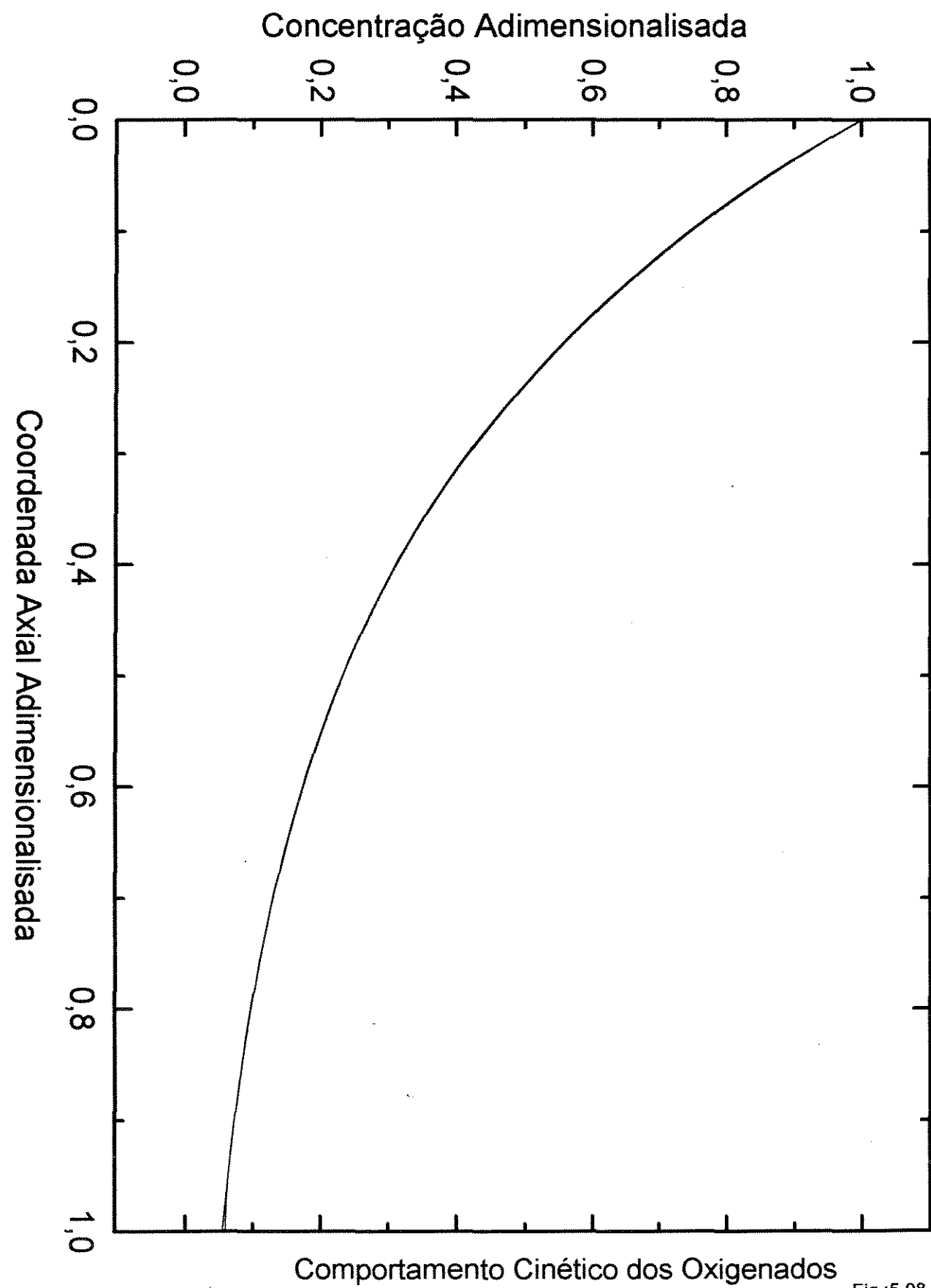


Fig.:5.07



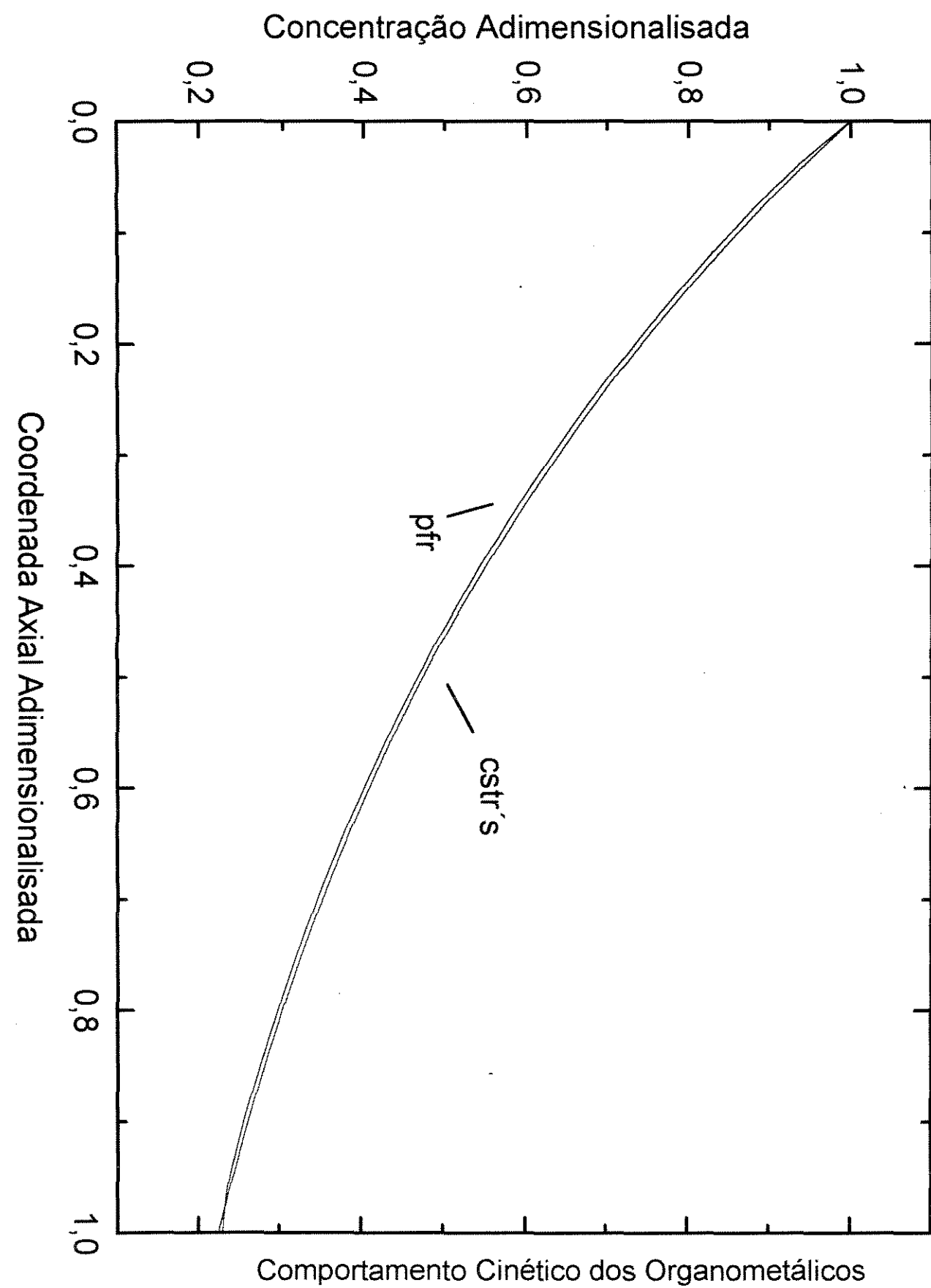


Fig.:5.09

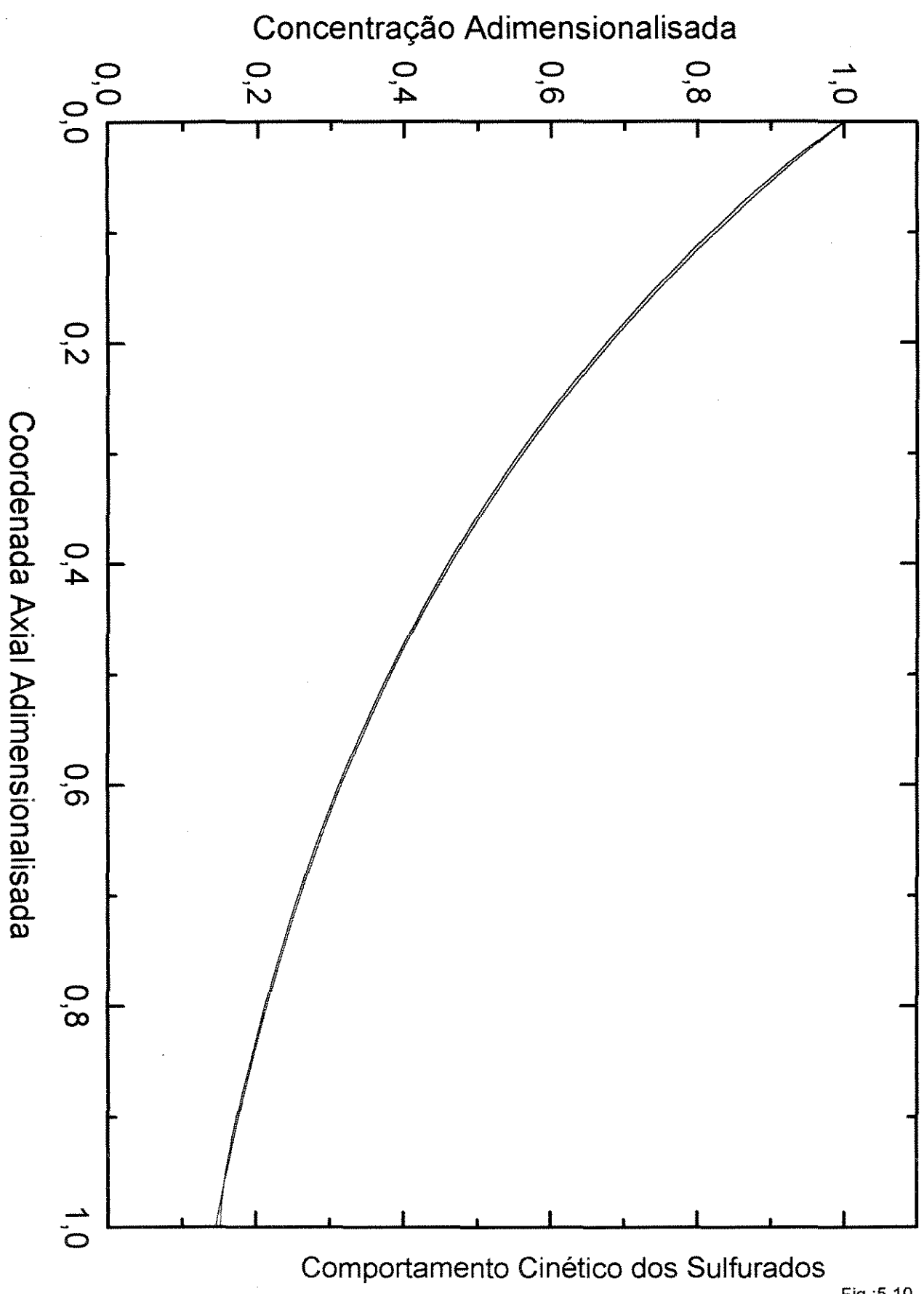


Fig.:5.10

2° COMPARAÇÃO :

$$\left[D_A \rightarrow \infty, N \rightarrow 1 \right] \Leftrightarrow \left[Pe \rightarrow 0, N = 1 \right]$$

Tab. : 5.1 Comparação de resultados pfr/cstr com $D_a \rightarrow \text{infinito}$

HIDROCRAQUEAMENTO :

Concentração adimensionalizada :

AH	AL	NH	NL	PH	PL	
0,1677	0,803	0,4236	2,7793	0,5575	2,4341	CSTR
0,1678	0,8031	0,4236	2,7794	0,5575	2,4342	TUBULAR

RETIRADA DE HETEROÁTOMOS :

Concentração adimensionalizada :

HDN	HDO	HDM	HDS	
0,1972	0,2558	0,396	0,3366	CSTR
0,1972	0,2558	0,394	0,3364	TUBULAR

5.2 - SIMULAÇÃO DA HIDROCONVERSÃO

A fim de prever o comportamento da concentração das espécies químicas que compõem a rede de hidrocraqueamento durante o processo de hidroconversão, dados arbitrários foram alimentados ao simulador construído. Variações nas principais grandezas do sistema como: tamanho de reator, velocidade do fluido e número de Peclet foram estudadas comparativamente em três situações diferentes, pseudocomponente a pseudocomponente afim de se ter uma ampla visualização das possibilidades do sistema.

- DADOS PARA A SIMULAÇÃO DA REDE DE HIDROCRAQUEAMENTO TÉRMICO :

- Constantes cinéticas a 370 °C (1/h) :

$k_1=1.2633$	(Aromáticos pesados para Naftenicos pesados)
$k_2=0.6042$	(Aromáticos pesados para Aromáticos leves)
$k_3=0.0421$	(Aromáticos pesados para Parafinas pesadas)
$k_4=0.5309$	(Aromaticos pesados para Parafinas leves)
$k_5=0.0397$	(Aromaticos pesados para Naftenicos leves)
$k_6=1.1855$	(Naftenicos pesados para Naftenicos leves)
$k_7=0.1619$	(Naftenicos pesados para Parafinas leves)
$k_8=0.4070$	(Parafinas pesadas para Parafinas leves)
$k_9=0.2909$	(Aromaticos leves para Naftenicos pesados)
$k_{10}=0.0818$	(Naftalenos leves para Parafinas leves)

- Composição inicial arbitrada :

Aromáticos Pesados	:	20% wt
Aromáticos Leves	:	15% wt
Naftenicos Pesados	:	15% wt
Naftenicos Leves	:	10% wt
Parafinas Pesadas	:	25% wt
Parafinas Leves	:	15% wt

- Características Arbitradas do Reator Tubular :

Comprimento do Reator	:	2 m
Velocidade espacial	:	1 m/h
Número de Peclet	:	1e30

A utilização de dados arbitrados, embora não representem uma situação real, são úteis para visualização do comportamento do sistema, frente a variação de seus parâmetros característicos.

5.21 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO DENTRO DO REATOR +/- 20%

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

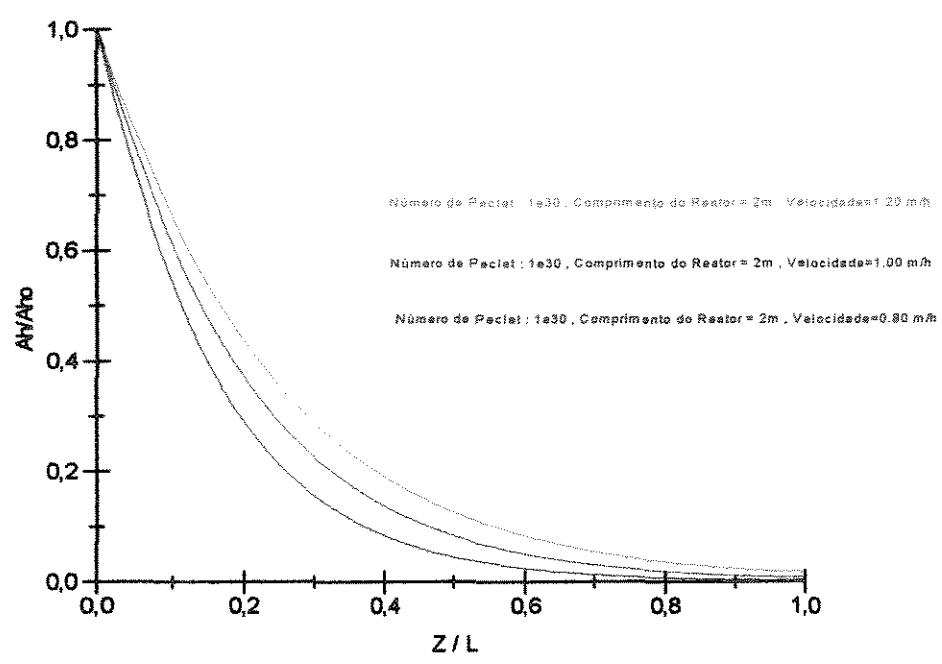


Fig.: 5.11

PARA AROMÁTICOS LEVES :

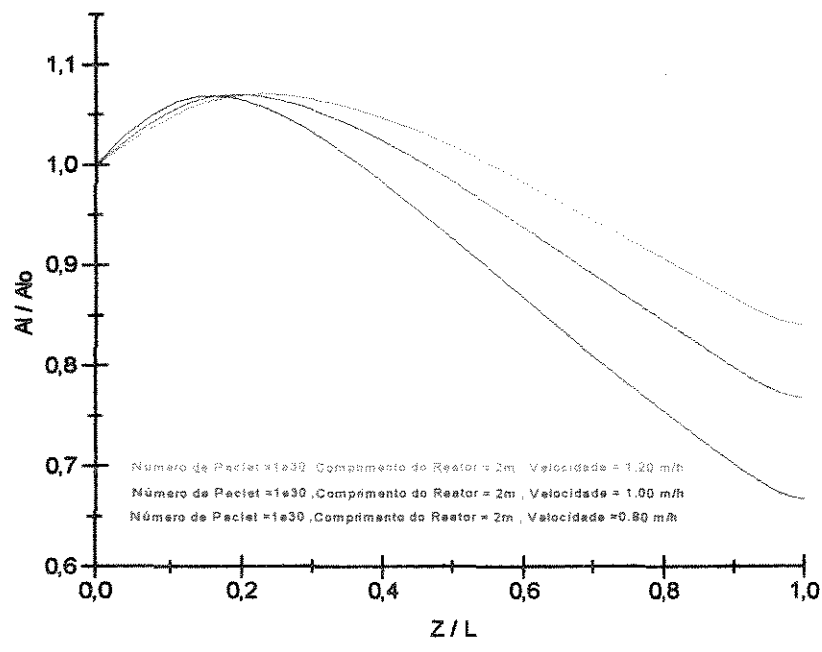


Fig.: 5.12

PARA NAFTENICOS PESADOS :

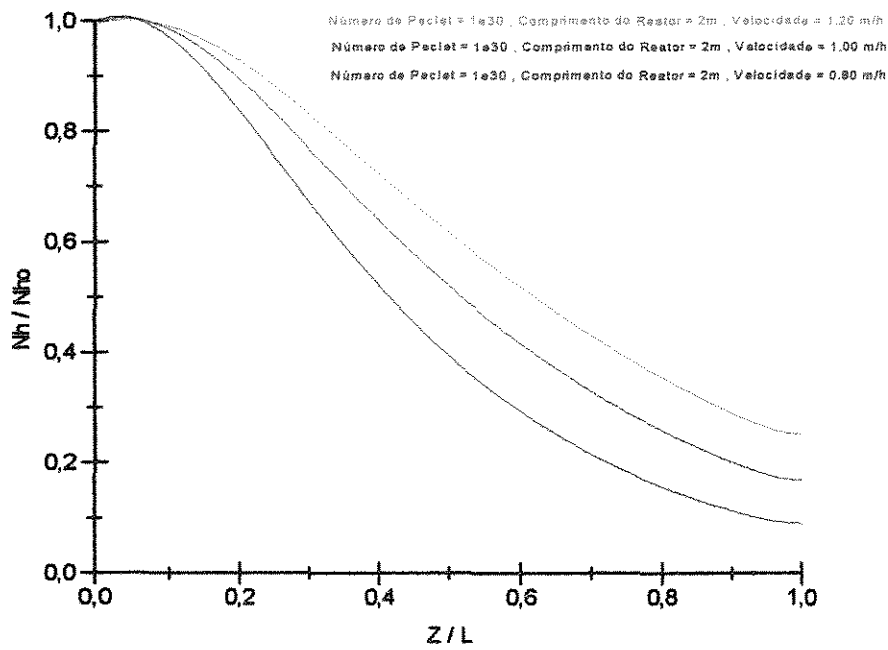


Fig.: 5.13

PARA NAFTENICOS LEVES

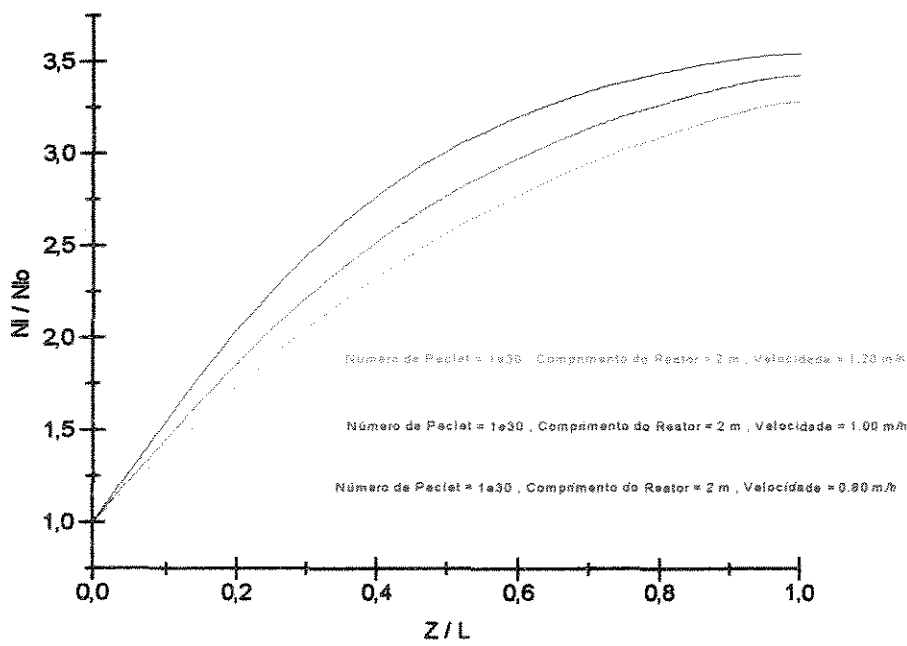


Fig. : 5.14

PARA PARAFINAS PESADAS :

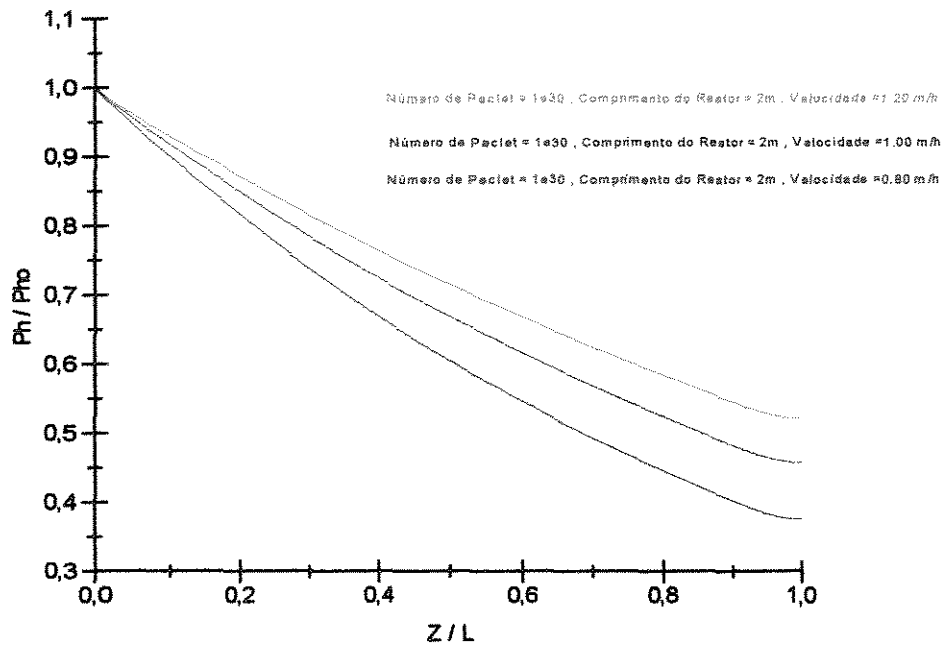


Fig.: 5.15

PARA PARAFINAS LEVES :

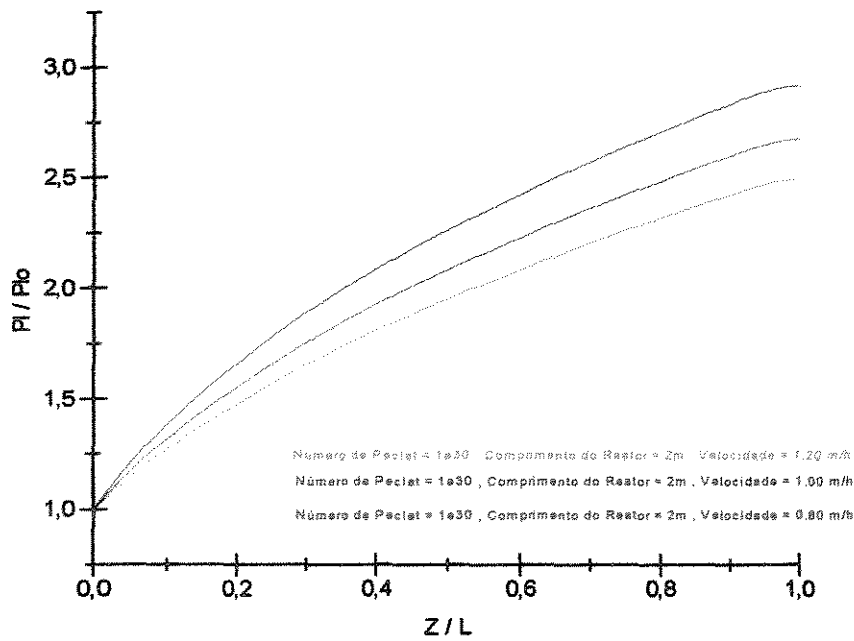


Fig.: 5.16

5.22 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DO REATOR +/- 20%

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

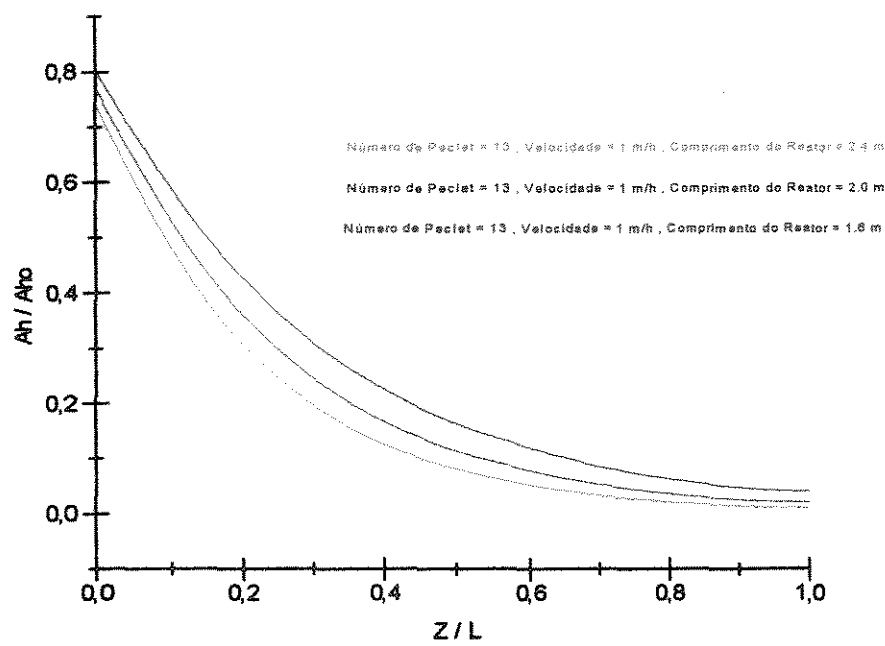


Fig.: 5.17

PARA AROMÁTICOS LEVES :

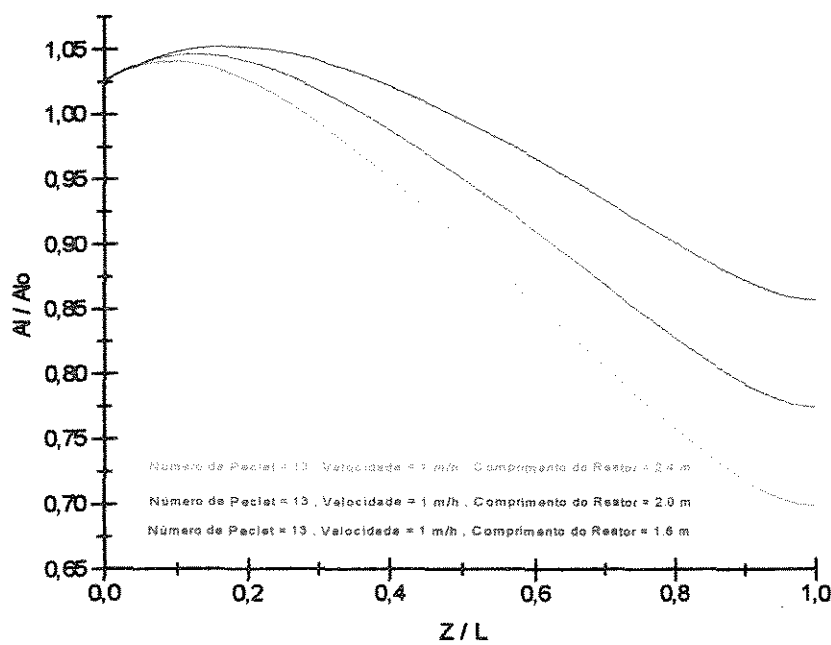


Fig.: 5.18

PARA NAFTENICOS PESADOS :

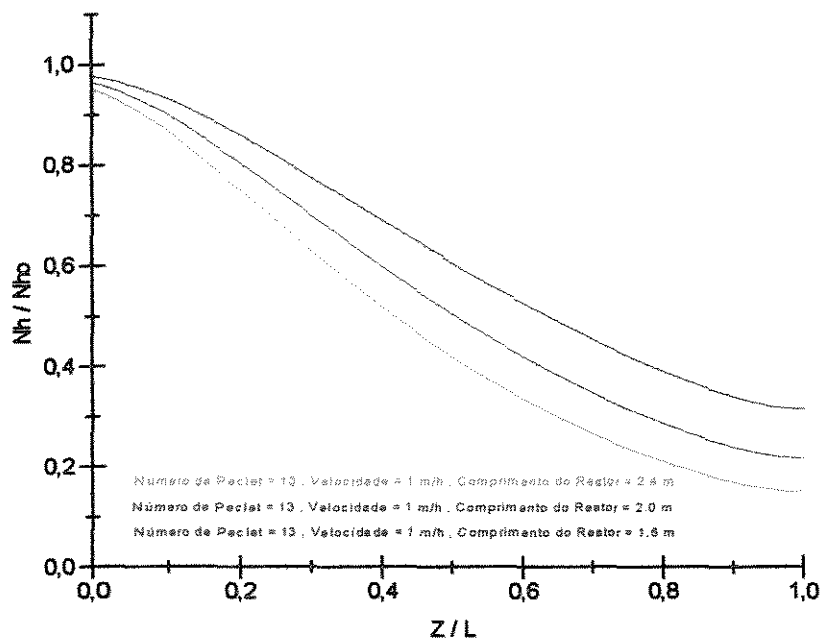


Fig.: 5.19

PARA NAFTENICOS LEVES :

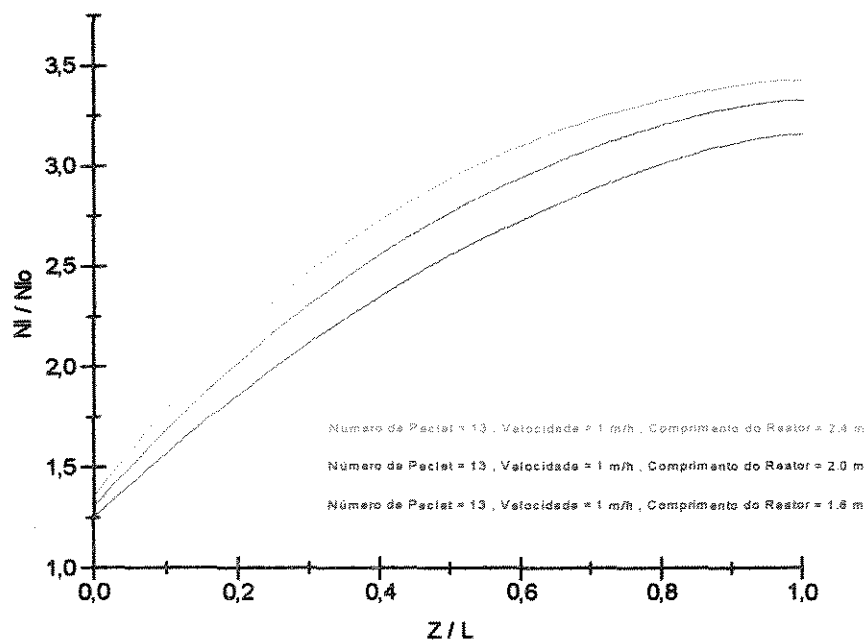


Fig.: 5.20

PARA PARAFINAS PESADAS :

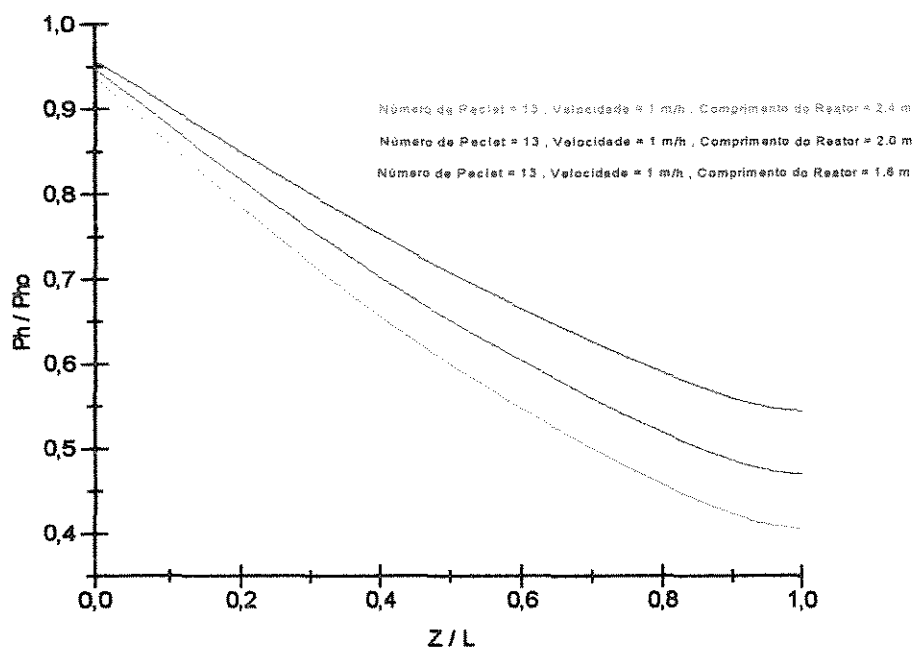


Fig.: 5.21

PARA PARAFINAS LEVES :

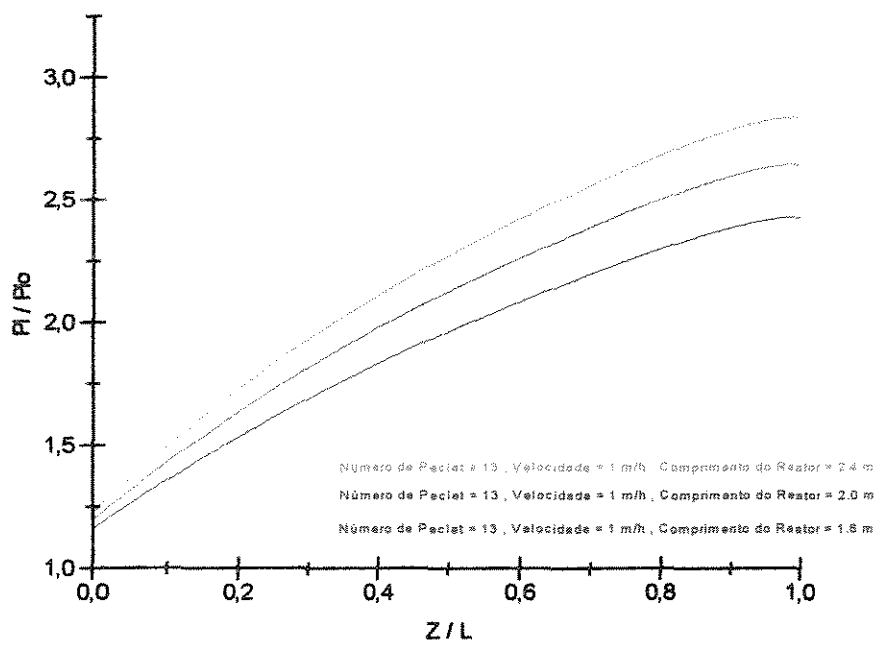


Fig.: 5.22

5.23 - VARIAÇÃO ARBITRÁRIA DO NÚMERO DE PECLET

PARA AROMÁTICOS PESADOS :

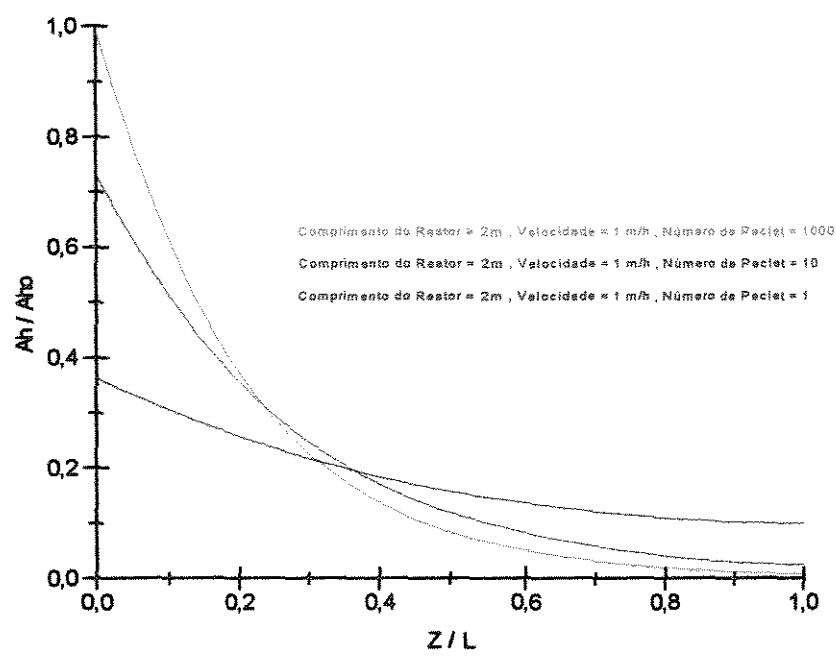


Fig.: 5.23

PARA AROMÁTICOS LEVES :

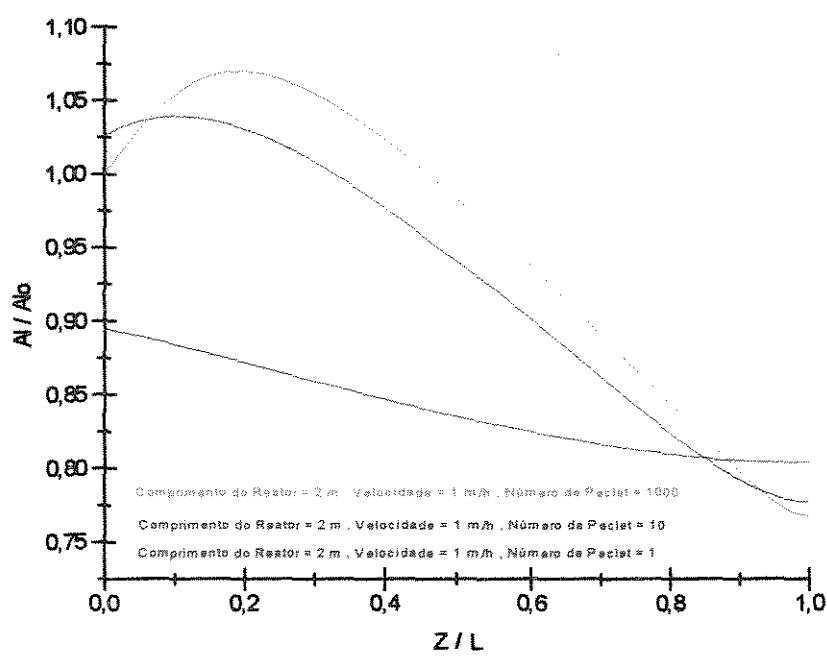


Fig.: 5.24

PARA NAFTENICOS PESADOS :

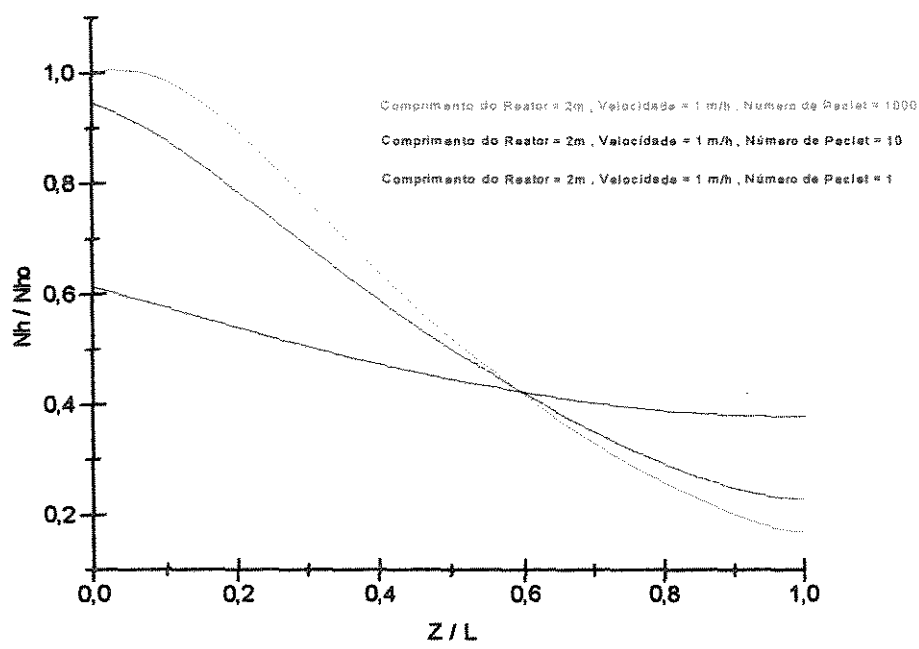


Fig.: 5.25

PARA NAFTENICOS LEVES :

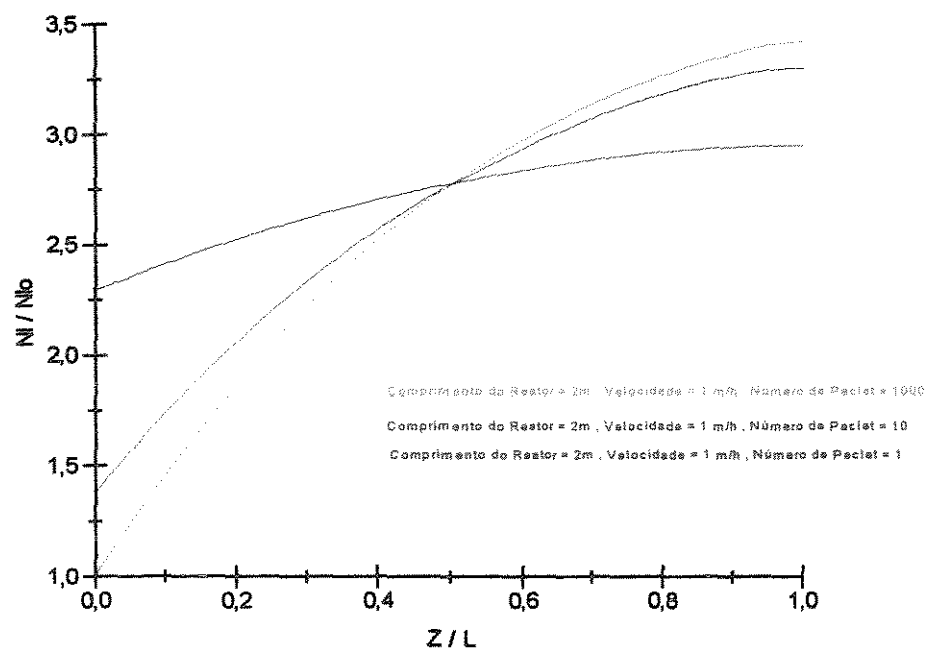


Fig.: 5.26

PARA PARAFINAS PESADAS :

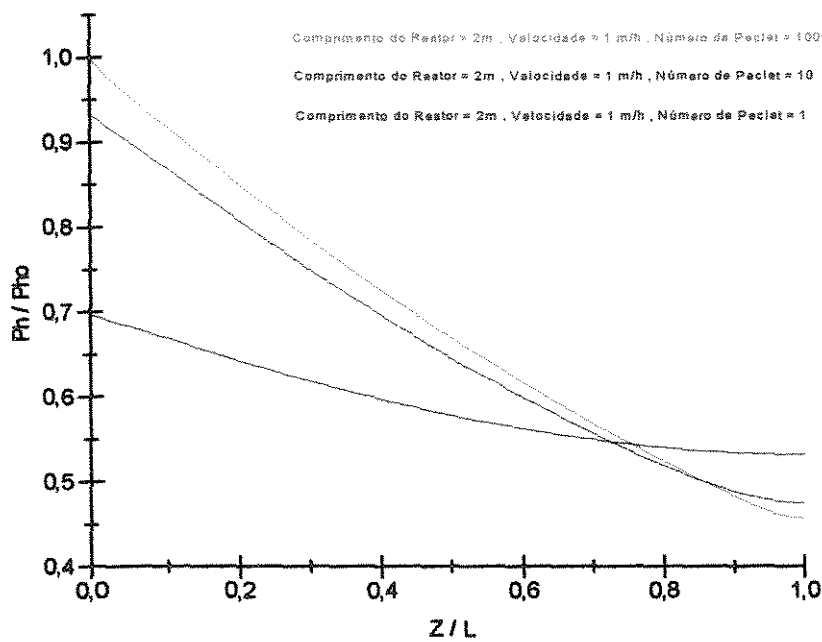


Fig.: 5.27

PARA PARAFINAS LEVES :

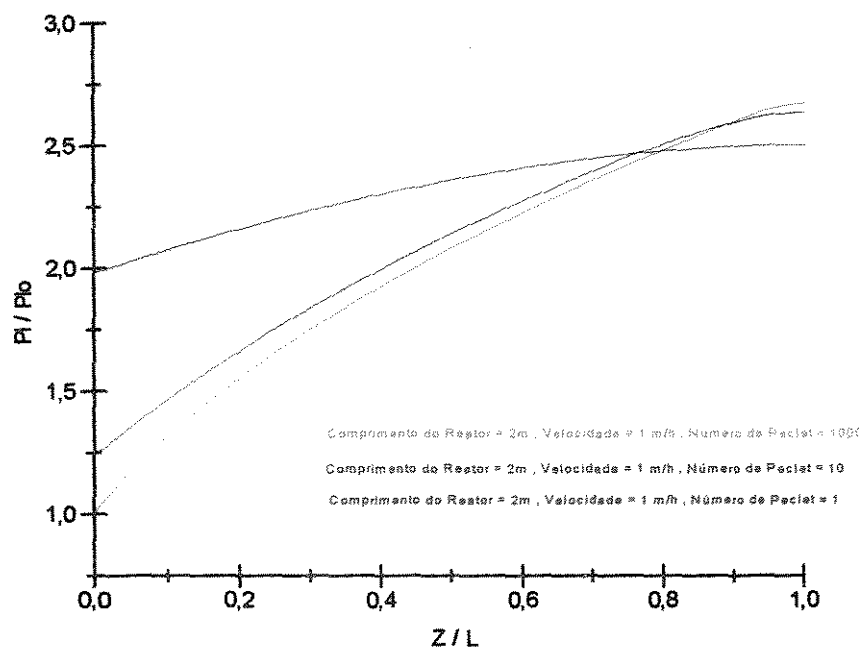


Fig.: 5.28

- Discussão dos resultados:

- No caso da variação da velocidade do fluxo dentro do reator observou-se que quanto maior a velocidade, menor era o grau de avanço da reação. Faz todo sentido pois o aumento da velocidade causa a diminuição do tempo de residência.

- No caso da variação do comprimento do reator observou-se que quanto maior o comprimento, maior era o grau de avanço da reação. Faz todo sentido pois o aumento do comprimento causa o aumento do tempo de residência.

- No caso da variação do número de Peclet, que neste caso representa uma variação de difusividade uma vez que a velocidade e o comprimento foram mantidos constantes, observou-se que quanto maior este número mais o sistema tubular se comporta como uma série de estr's ideais, o que faz todo sentido uma vez que quando $Pe \rightarrow \infty$ é porque $D_A \rightarrow 0$ onde o sistema tem de se comportar como se realmente fosse uma série de estr's em série.

- Observe o caso dos aromáticos pesados, que na rede apresentada é apenas consumido, sua concentração diminui monotonicamente ao longo de todo o reator. Esta diminuição pode ser mais ou menos pronunciada dependendo das constantes cinéticas envolvidas em sua decomposição.

- No caso dos aromáticos leves a concentração atinge um máximo entre os extremos do reator, tal fato se deve a localização desta espécie química na rede cinética pois esta é tanto consumida quanto produzida no decorrer do processo. A localização do ponto de máximo depende das constantes cinéticas envolvidas. Este é o caso também dos naftenicos pesados.

- No caso dos naftenicos leves, embora esta espécie seja formada e consumida durante o processo, a taxa de formação supera a de decomposição até um tamanho de reator de 2.4 m pelo menos (valor máximo utilizado na simulação), por isto sua concentração cresce monotonicamente neste intervalo. Um caso contrário é o das parafinas pesadas cuja concentração decresce monotonicamente no intervalo considerado mesmo sendo produzida e consumida simultaneamente durante o processo. Estes comportamentos são definidos por dois fatores : posição da espécie química na rede cinética e a distribuição das constantes de taxa nesta rede.

- O caso das parafinas leves é o mais simples, o comportamento de sua concentração é invariavelmente crescente em qualquer intervalo de tempo (batelada) ou tamanho de reator e velocidade de fluxo (fluxo contínuo) , pois esta espécie é apenas formada na rede considerada.

5.3 - SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS DE RETIRADA DE HETEROÁTOMOS

A fim de prever o comportamento da concentração das espécies nitrogenadas e oxigenadas, presentes em frações pesadas do petróleo, durante o processo de hidroconversão, dados arbitrários foram alimentados ao simulador desenvolvido. Variações nas principais grandezas do sistema como : tamanho do reator, velocidade do fluido, número de Peclet e densidade do leito foram estudadas comparativamente em três situações diferentes, pseudocomponente a pseudocomponente, a fim de se ter uma ampla visão das possibilidades do sistema.

Nos casos dos processos de HDM e HDS, onde a efetividade catalítica é uma função do tempo, apenas variações no tempo foram estudadas uma vez que este é o fator que se distingue o comportamento destes processos dos demais.

- DADOS PARA A SIMULAÇÃO DA HIDRODENITROGENAÇÃO E HIDRODESOXIGENAÇÃO :

- Constantes cinéticas arbitradas ($\text{m}^3/\text{h Kg}_{\text{cat.}}$)

$$k_{\text{hdm}} = 0.4070$$

$$k_{\text{hds}} = 0.2909$$

$$\text{Densidade do leito de catalisador} = 5 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Comprimento do reator} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Velocidade espacial} = 1 \text{ m/h}$$

$$\text{Número de Peclet} = 1\text{e}30$$

- A composição inicial é arbitrada como sendo :

Nitrogenados : 20% wt (extremamente alta)

Oxigenados : 20% wt (extremamente alta)

A utilização de dados arbitrados, embora não representem uma situação, são úteis para a visualização do comportamento do sistema frente a variação de seus parâmetros característicos.

RESULTADOS PARA A HIDRODENITROGENAÇÃO

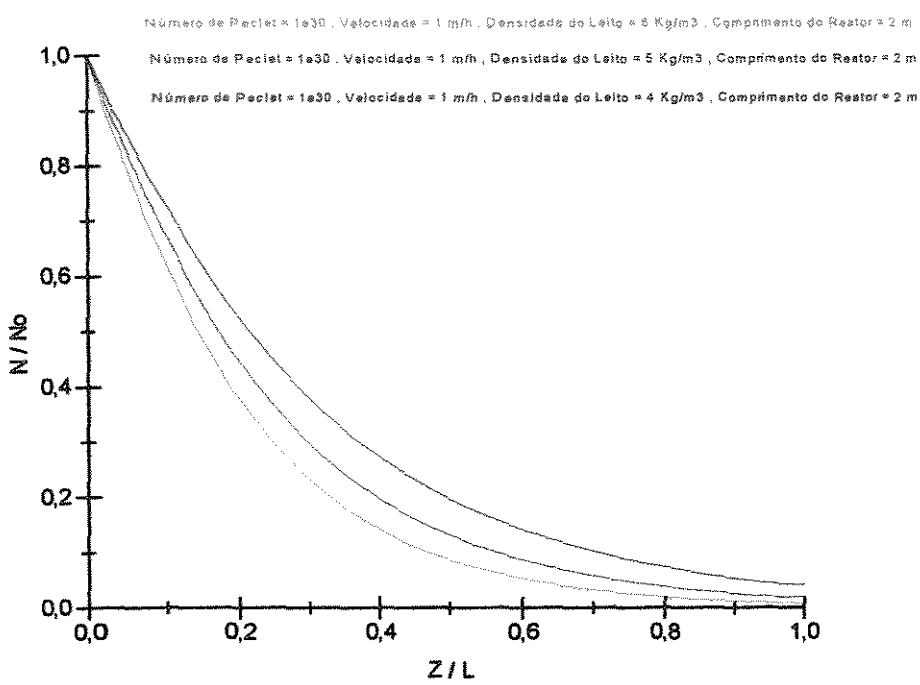


Fig.: 5.29

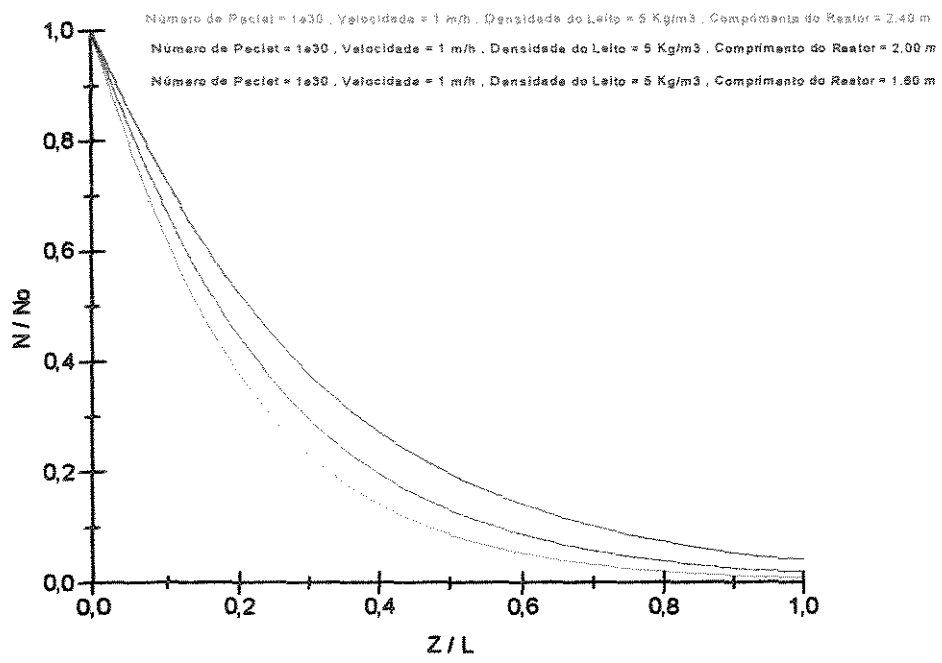


Fig.: 5.30

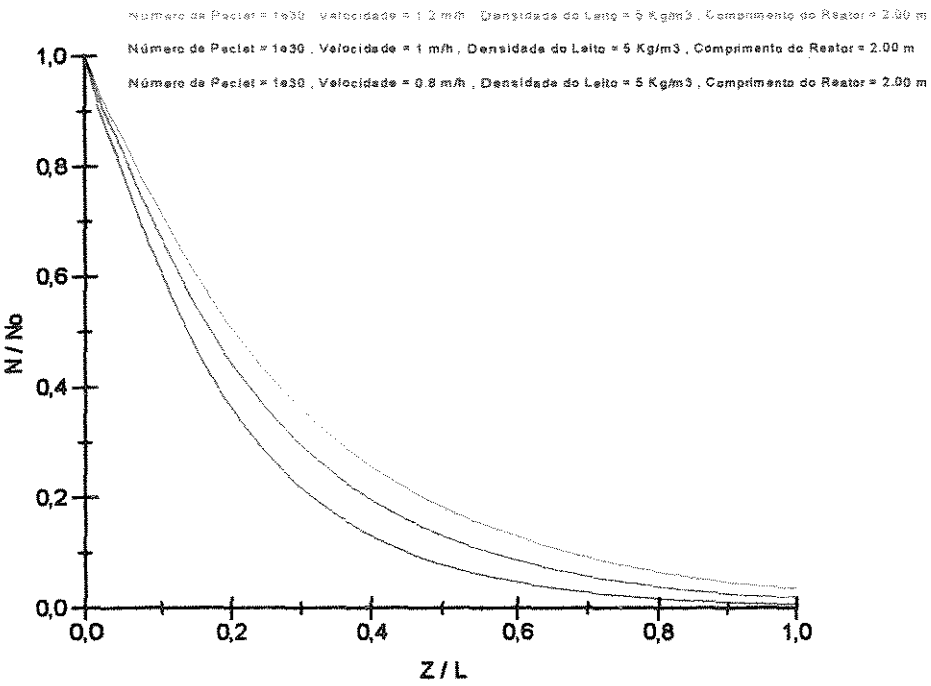


Fig.: 5.31

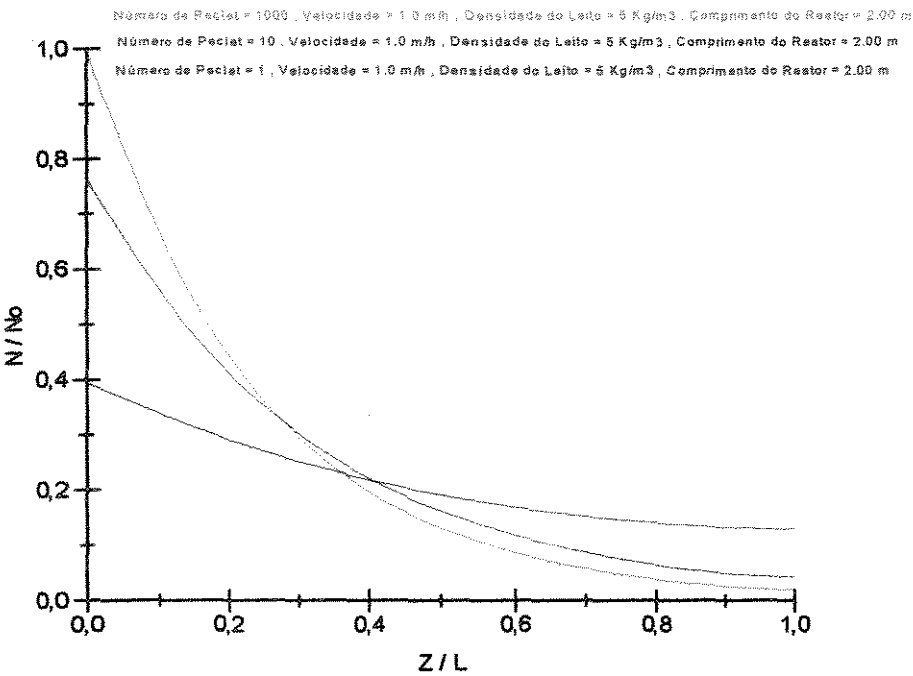


Fig.: 5.32

RESULTADOS PARA A HIDRODEOXIGENAÇÃO

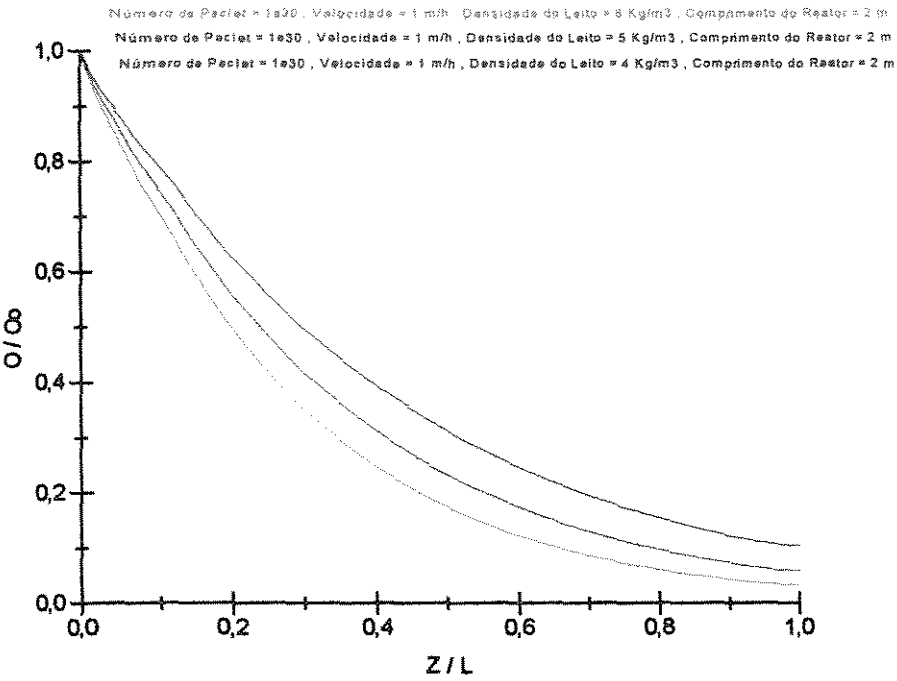


Fig.:3.33

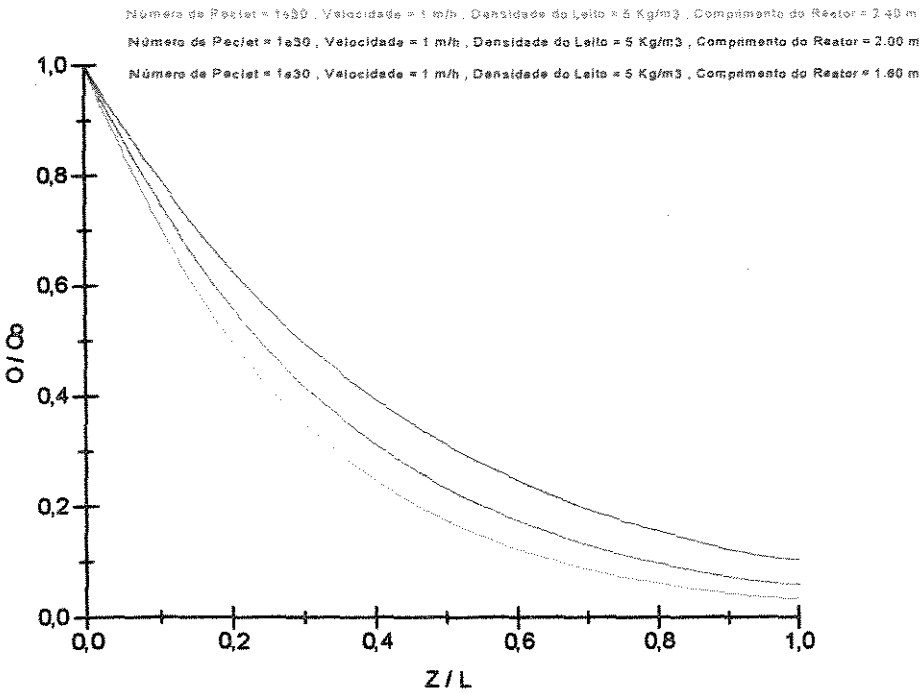


Fig.: 5.34

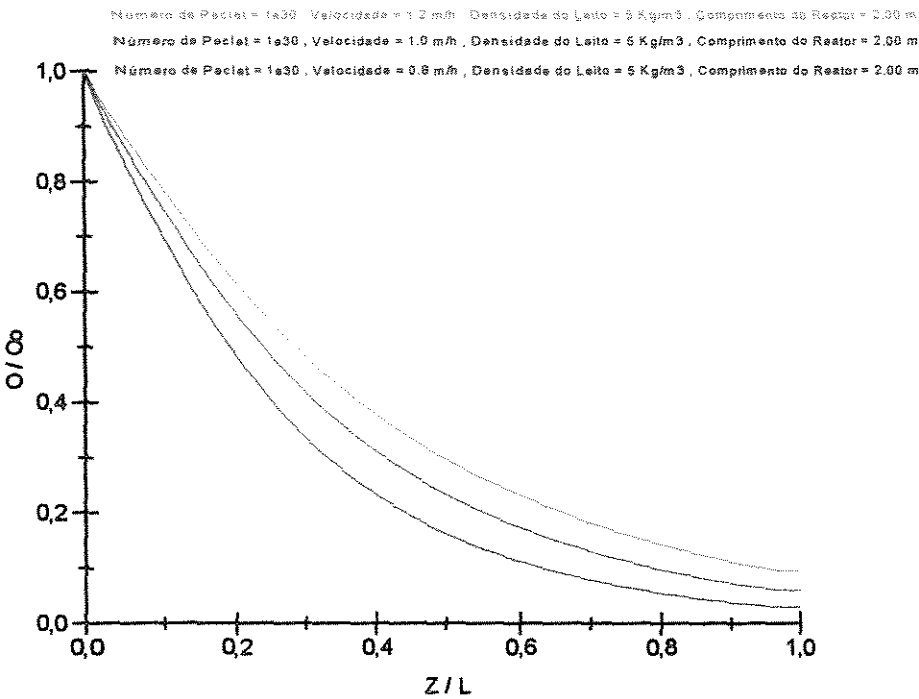


Fig.: 5.35

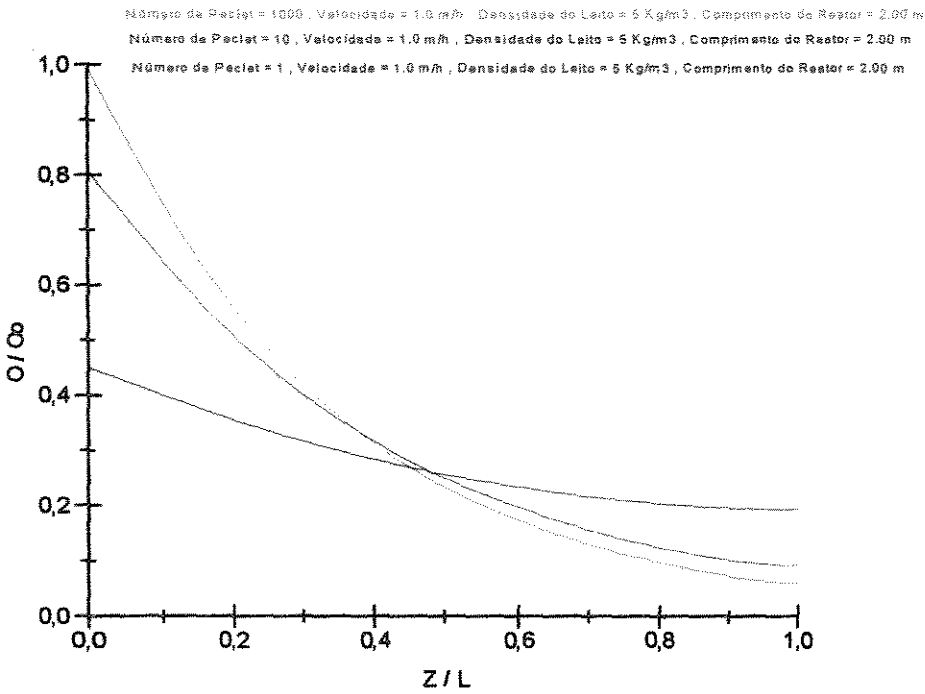


Fig.:5.36

- Discussão dos resultados:

- No caso da variação da velocidade do fluxo dentro do reator observou-se que quanto maior a velocidade, menor era o grau de avanço da reação. Faz todo sentido pois o aumento da velocidade causa a diminuição do tempo de residência.

- No caso da variação do comprimento do reator observou-se que quanto maior o comprimento, maior era o grau de avanço da reação, devido a um aumento no tempo de residência. Faz todo sentido pois o aumento do comprimento causa o aumento do tempo de residência.

- No caso da variação do número de Peclet, que neste caso representa uma variação de difusividade uma vez que a velocidade e o comprimento foram mantidos constantes, observou-se que quanto maior este número mais o sistema tubular se comporta como uma série de cstr's ideais, o que faz todo sentido uma vez que quando $Pe \rightarrow \infty$ é porque $D_A \rightarrow 0$ onde o sistema tem de se comportar como se realmente fosse uma série de cstr's em série.

- No caso do aumento da densidade do leito observou-se um aumento no grau de avanço da reação, o que faz todo sentido uma vez que a reação é catalítica.

- Observe que tanto no caso dos nitrogenados como no dos oxigenados as concentrações decrescem monotonicamente uma vez que estas espécies são apenas consumidas durante o processo. Fatores como densidade do leito, constante cinética, velocidade de fluxo e número de Peclet definem o formato das curvas que descrevem o comportamento das concentrações no sistema considerado.

- DADOS PARA A SIMULAÇÃO DA HIDRODEMÉTALIZAÇÃO E HIDRODESULFURIZAÇÃO :

- Constantes cinéticas arbitradas (m³/h Kg_{cat.})

$$k_{hdm} = 0.4070$$

$$k_{hds} = 0.2909$$

Densidade do leito de catalisador = 5 Kg / m³

Comprimento do reator = 2 m

Velocidade espacial = 1 m/h

Número de Peclet = 1e30

- A composição inicial de Organometálicos e sulfurados é arbitrada como sendo :

Organometálicos : 20% wt (extremamente alta)

O fator (k_{sa}) para o sistema foi considerado = 1

Sulfurados : 20% wt (extremamente alta)

Densidade do leito = 5 Kg_{cat.} / m³

Os valores para as variáveis que afetam a efetividade do catalisador também foram arbitrados :

$$\Phi_{hdm}^2 = \frac{2k_{hdm}\tau L_D^2}{\left[\frac{\varepsilon_M^o}{\varepsilon_m} + \left(1 - \frac{r_{mol(M)}^4}{(r_m^o)^4}\right)r_m^o D_M\right]} = 2 \quad [5.01] \quad \Phi_{hds}^2 = \frac{2k_{hds}\tau L_D^2}{\left[\frac{\varepsilon_M^o}{\varepsilon_m} + \left(1 - \frac{r_{mol(S)}^4}{(r_m^o)^4}\right)r_m^o D_S\right]} = 0.5 \quad [5.02]$$

$$q_{hdm} = \frac{(1 - b_{hdm})^3 (1 + b_{hdm})}{(a + p_{hdm})} = 0.95 \quad [5.03] \quad q_{hds} = \frac{(1 - b_{hds})^3 (1 + b_{hds})}{(a + p_{hds})} = 1.95 \quad [5.04]$$

[5.05, 5.06, 5.07, 5.08, Respectivamente]

$$p_{hdm} = (1 - b_{hdm})^4, \quad p_{hds} = (1 - b_{hds})^4, \quad b_{hdm} = \frac{r_{mol(M)}}{r_m^o}, \quad b_{hds} = \frac{r_{mol(S)}}{r_m^o}$$

$$\frac{\theta_{hdm}}{Co_{(M)}t} = \frac{k_{hdm}}{r_m^o \rho_d} \approx 10^{-2} \quad [5.09] \quad \frac{\theta_{hds}}{Co_{(S)}t} = \frac{k_{hds}}{r_m^o \rho_d} \approx 10^{-2} \quad [5.10]$$

Uma vez que para variações de comprimento de reator, densidade do leito, velocidade e número de peclet (hdm) e (hds) se comportam como (hdm) e (hdo), já que são também de 1º ordem e não participam de rede, nos limitaremos a variar somente o tempo de processamento.

RESULTADOS PARA A HIDRODEMETALIZAÇÃO

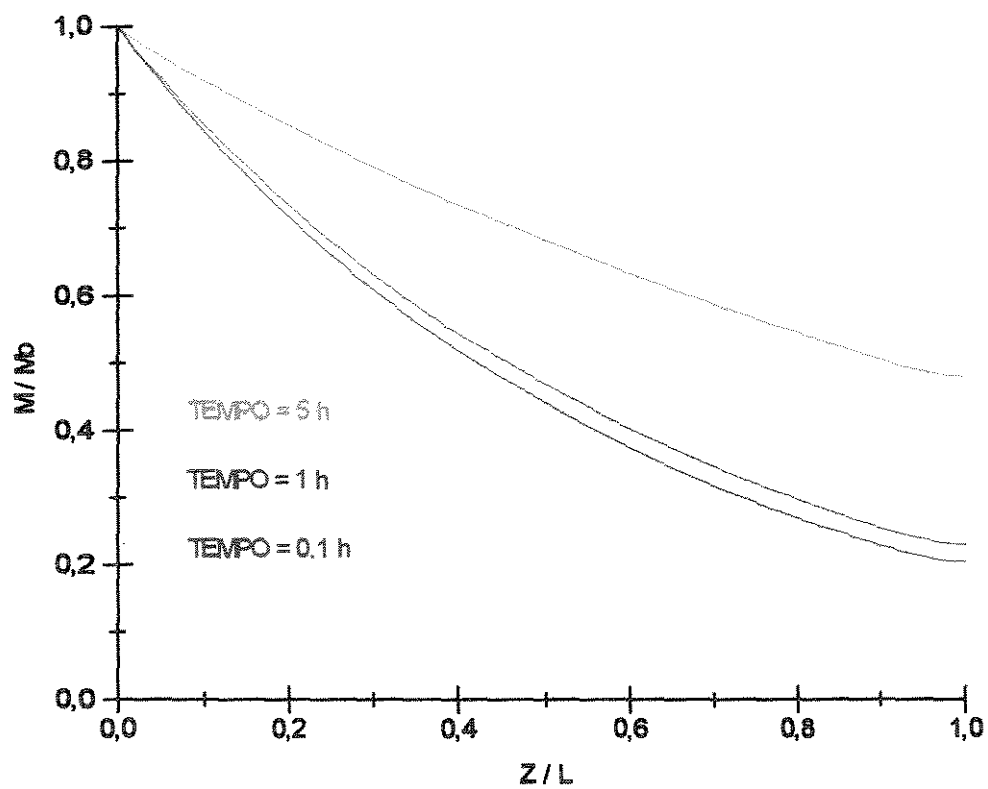
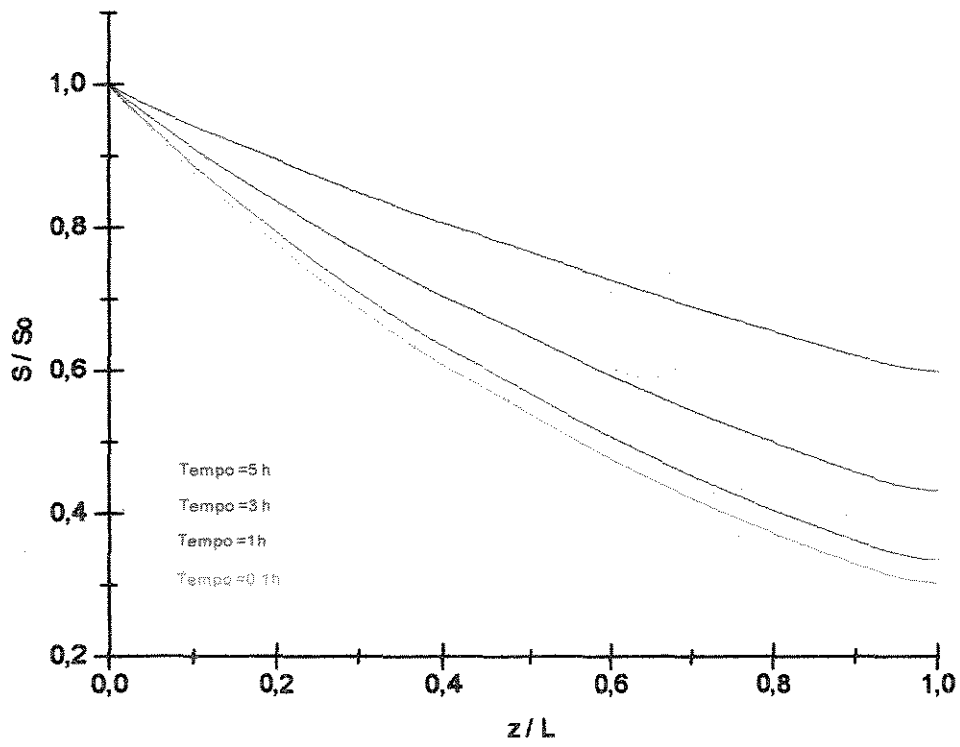


Fig.: 5.37

RESULTADOS PARA A HIDRODESULFURIZAÇÃO

**Fig.: 5.38**

- Discussão dos resultados

Uma vez que a efetividade do catalisador diminui com o tempo, diminuindo assim a taxa de reação que é catalítica, é de se esperar que a conversão diminua com o tempo ao longo de todo o reator, fato que está de acordo com os resultados do modelo.

Uma análise dos resultados demonstra que a perda de efetividade aumenta com o tempo, o que já era esperado. A acentuada queda de efetividade catalítica com o tempo observada nas simulações deve-se a alta concentração de heteroátomos (~ 20%) arbitrada durante a simulação. Submetido a concentrações menores de heteroátomos a vida útil do catalisador aumenta e a efetividade decai menos acentuadamente.

CAPÍTULO - 6

CONCLUSÃO.

**“ Somente os homens de boa vontade
são imprescindíveis. Quanto ao resto,
acho que jamais precisaremos deles. “**

- Von Krauss -

CONCLUSÃO :

A abordagem considerada para o problema em questão mostrou-se válida, uma vez que produziu resultados coerentes, ainda que utilizando valores arbitrários devido à indisponibilidade de dados experimentais no momento. Para uma simulação realística é necessário alimentar o simulador com dados reais referentes ao sistema em questão, e assim tornar previsível as concentrações dos pseudocomponentes em qualquer coordenada axial de um reator de hidroconversão, permitindo cálculos de otimização e controle do sistema.

6.1 - SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS :

A simulação, baseada em dados arbitrários, devido a escassez de dados experimentais, produziu resultados coerentes. Avaliar os dados experimentais reais referentes ao resíduo em questão e implementá-los no modelo aqui proposto, afim de que se possa prever a concentração de cada pseudocomponente em qualquer coordenada axial do reator se faz ainda necessário.

Embora o modelo matemático da cinética de hidroconversão tenha sido levantado, sua simulação computacional requer o conhecimento de algumas propriedades pertinentes ao sistema em questão, estas propriedades são normalmente obtidas através de medidas experimentais sendo o conjunto delas uma característica do sistema, que no caso trata-se de uma fração pesada do petróleo submetida a um tratamento de hidroconversão em um reator tubular com dispersão axial e uma série de cstr's ideais.

O modelo alimentado com estes dados constitui o simulador real que, dentro das limitações que lhe são impostas devido a simplificações no modelo, é capaz de gerar resultados que pretendem aproximar o comportamento do sistema real e assim torná-lo previsível além de possibilitar seu projeto e otimização.

A fim de alimentar o modelo aqui proposto e alcançar os objetivos acima descritos, segue uma lista dos dados experimentais necessários à simulação da cinética de hidroconversão nos sistemas considerados.

6.2 - OS DADOS NECESSÁRIOS PARA A SIMULAÇÃO REAL DA CINÉTICA DE HIDROCONVERSÃO:

- Composição em peso do residuo em termos de Aromáticos leves e pesados, Naftenicos leves e pesados, Parafinas leves e pesadas, Sulfurados, Nitrogenados, Organometálicos e Oxigenados.

- Constantes cinéticas dos seguintes processos, medidas nas condições reais de operação :

(Aromáticos pesados para Naftenicos pesados)	(Aromáticos pesados para Aromáticos leves)
(Aromáticos pesados para Parafinas pesadas)	(Aromaticos pesados para Parafinas leves)
(Aromaticos pesados para Naftenicos leves)	(Naftenicos pesados para Naftenicos leves)
(Naftenicos pesados para Parafinas leves)	(Parafinas pesadas para Parafinas leves)
(Aromaticos leves para Naftenicos pesados)	(Naftalenos leves para Parafinas leves)
(Degradação de Sulfurados)	(Degradação de Nitrogenados)
(Degradação de Organometálicos)	(Degradação de Oxigenados)

- | | |
|---|--|
| - Comprimento do reator tubular. | - Area de secção reta do reator tubular. |
| - Vazão no reator. | - Densidade do leito catalítico. |
| - Temperatura de operação. | - Viscosidade do residuo. |
| - Densidade do residuo. | - Diâmetro do poço do termopar. |
| - Raio médio das moléculas de cada pseudo componente. | |

** Os dados a seguir são necessários somente para os processos de HDM e HDS.

- | | |
|--|---|
| - Densidade da partícula de catalisador. | - Diâmetro da partícula de catalisador. |
| - Caminho difusional no interior do catalisador. | - Raio médio inicial dos macro e micro poros. |
| - Tortuosidade do catalisador. | |
| - Macroporosidade e microporosidade dos catalisadores. | |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

- [1] - SHEREVE, B. Indústria de Processos Químicos, 3^o Edição, Cap. 37.
- [2] - S. MOHANTY, D.N. SARAF and D. KUNZRU. Modeling of a hydrocracking reactor. Fuel Processing Tecnology, 29, 1991, 1 - 17.
- [3] - M. GUTIÉRREZ, R.G. CAPRIOLI. Cinética de hidrocrackeo de resíduos. Rev. Tec. Intevp, 8 (2), 115 - 123, julio - diciembre, 1988/115.
- [4] - S. MOHANTY, D.N. SARAF and D. KUNZRU. Hydrocracking : a review. Fuel, 1990, Vol 69, December.
- [5] - G. F. FROMENT, G.A. DEPAUW and V. VANRYSELBERGHE. Kinetic modeling and reactor simulation in hydrodesulfurization of oil fractions. Ind. Eng. Chem. Res. 1994. 33, 2975 - 2988.
- [6] - J.G.SPEIGHT. The desulfurization of heavy oils and residua, 1^o Edição, Cap.1-3
- [7] - M. J. GIRGIS and B. C. GATES. Reactivities, reaction networks and kinetics in high - pressure catalytic hydroprocessing. Ind. Eng. Chem. Res. 1991, 30, 2021 - 2058.
- [8] - L.CHIUPING, Y. CHEN and M.TSAI. Highly restrictive diffusion under hydrotreating reactions of heavy residue oils. Ind. Eng. Chem. Res. 1995, 34, 898 - 905
- [9] - J. WEI. Modeling of catalytic hydrodemetallation. Revue de L'Institut Français du Pétrole. Vol 46, N^o 4, Juillet - Août, 1991.
- [10] - S. GRYGLEWICZ, M.RUTKOWSKI and M. STEININGER. Demetallization of heavy vacuum fraction. Fuel Processing and Tecnology, 27, 1991, 279 - 286.
- [11] - R. A. CORBETT. Modern hydrocracking is the key to upgrading processes. Oil and Gas Journal, June, 26, 1989.

- [12] - S. LIAW, R. A. KEOGH, G. A. THOMAS and B. H. DAVIS. Catalytic hydrotreatment of coal-derived naphta using commercial catalysts. *Energy & Fuel*, 1994, 8, 581 - 587.
- [13] - R. KRISHNA and A. K. SAXENA. Use of an axial - dispersion model for kinetic description of hydrocracking. *Chemical Engineering Science*, Vol 44, N° 3, 703 - 712, 1989.
- [14] - J. C. N. ABREU. Modelagem e simulação de reator de leito expandido aplicado ao hidroprocessamento de óleos pesados e resíduos de destilação , Cap 5, UNICAMP- 1995. (TESE).
- [15] - G. F. FROMENT, K. B. BISCHOFF. *Chemical reactor analysis and design*, 2° Edição, 1990, Cap 2, 3, 12.
- [16] - R. B. BIRD, W. E. STEWART, E. N. LIGHTFOOT. *Transport Phenomena*. 1960, Cap 3.
- [17] - R.N. BENNET, K.H. BOURNE. Hydrocracking for Middle distillate - a Study of Process Reactions and Corresponding Product Yields and Qualities. Symposium on Advances in Distillate and Residual Oil Technology. American Chemical Society, New York, 27, August - 1 September 1972, pp. G45 - G62.
- [18] - L.C. TRYTTEN, M.R. GRAY. Estimation of Hydrocracking of C - C bonds during hydroprocessing of oils. *Fuel*, 1990, March, Vol 69.
- [19] - R.E. BALTUS. Catalytic Processing of Heavy Crude Oils and Residua. *Fuel Science and Technology INT'L.*, 11(5&6), 751 - 782 , 1993.
- [20] - R.F. SULLIVAN, M.Boduszynski and J.C.FETZER. Molecular Transformations in Hydrotreating and Hydrocracking. *Energy & Fuels*, 1989, 3, 603 - 612.

APÊNDICE

“ Da vida quero apenas que
aquilo a que me entrego
me faça sentir alegria. ”

- Raquel de Queiroz -

- CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS REAÇÕES DE HIDROCONVERSÃO :

PSEUDO COMPONENTE	REAÇÃO	TAXA DE REAÇÃO		
MOLÉCULAS DE ALTO P.M.	CRAQUEAMENTO		$r_x = -k_x C_x$	
NITROGENADOS	HIDRODENITROGENAÇÃO		$r_N = -k_N C_N$	
SULFURADOS	HIDRODESSULFURIZAÇÃO		$r_S = -k_S C_{S-no\ solido}$	
ORGANOMETÁLICOS	HIDRODEMETALIZAÇÃO		$r_M = -k_M C_{M-no\ solido}$	
OXIGENADOS	HIDRODEOXIGENAÇÃO		$r_O = -k_O C_O$	

REAÇÃO	TIPO	CATALISADOR	EFEITO DIFUSIONAL
CRAQUEAMENTO	TÉRMICA	NENHUM	NENHUM
HIDRODENITROGENAÇÃO	CATALÍTICA	(Ni-Mo), (Ni-W) - Alumina	DESPREZÍVEL
HIDRODESSULFURIZAÇÃO	CATALÍTICA	(CoO-MoO ₃), (Ni-MoO ₃) - Alumina	DESPREZÍVEL
HIDRODEMETALIZAÇÃO	CATALÍTICA	(CoO-MoO ₃), (Ni-MoO ₃) - Alumina	CONSIDERÁVEL
HIDRODEOXIGENAÇÃO	CATALÍTICA	(Ni-Mo), (Co-Mo) - Alumina	CONSIDERÁVEL

- MÉTODOS PARA CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO :

- 1º) O conteúdo de enxofre e de metal pode ser medido por espectroscopia de raio - X fluorescente utilizando Fe^{55} como fonte de radiação [8].
- 2º) O conteúdo de nitrogênio pode ser analisado utilizando um Piro-Reator [18].
- 3º) O conteúdo de oxigênio pode ser medido através de um analisador elementar [18].
- 4º) A análise de hidrocarbonetos faz uso de cromatografia líquida de alta performance (HPLC) com UV / vis photodiode-array detection, acompanhada de espectroscopia de massa que utiliza campos de ionização [20] .

LISTAGEM
DOS
PROGRAMAS UTILIZADOS
NA
SIMULAÇÃO DA CINÉTICA QUÍMICA
DA
HIDROCONVERSÃO

```

PROGRAM SISTEMA; ( AROMATICOS PESADOS EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KPE,KVL,KCM,KK1,KK2,KK3,KK4,KK5:REAL;
    VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL;
    TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,HHO,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;

```

```
(** PRIMEIRA PROCEDURE **)
```

```

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];

```



```

B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];
A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
  B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
  A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
  B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
  A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
  B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
  A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
  B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
  A3[1,J]:=A2[1,J];
  B3[1]:=B2[1];
  A3[2,J]:=A2[2,J];
  B3[2]:=B2[2];
  A3[3,J]:=A2[3,J];
  B3[3]:=B2[3];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
  B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
  A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
  B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
  A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
  B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
  A4[1,J]:=A3[1,J];
  B4[1]:=B3[1];
  A4[2,J]:=A3[2,J];
  B4[2]:=B3[2];
  A4[3,J]:=A3[3,J];
  B4[3]:=B3[3];
  A4[4,J]:=A3[4,J];
  B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];

```

```

A5[5,J]:=A4[5,J];
B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
  B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
  A6[1,J]:=A5[1,J];
  B6[1]:=B5[1];
  A6[2,J]:=A5[2,J];
  B6[2]:=B5[2];
  A6[3,J]:=A5[3,J];
  B6[3]:=B5[3];
  A6[4,J]:=A5[4,J];
  B6[4]:=B5[4];
  A6[5,J]:=A5[5,J];
  B6[5]:=B5[5];
  A6[6,J]:=A5[6,J];
  B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

```

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
  X:=PC1;
  K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
  K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
  EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
  EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  X:=PC2;
  K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
  K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
  EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
  EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
  K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
  DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

$K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $X:=PC3;$
 $K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);$
 $K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $X:=PC4;$
 $K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);$
 $K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $X:=PC5;$
 $K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);$
 $K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $X:=PC6;$
 $K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);$
 $K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);$
 $K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);$

```

X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
END;

```

(** TERCEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA;
X:=PC2;P2:=DA;
X:=PC3;P3:=DA;
X:=PC4;P4:=DA;
X:=PC5;P5:=DA;
X:=PC6;P6:=DA;
X:=PC7;P7:=DA;
END;

```

(** INICIO DA PARTE COPIAVEL ----- **)

(** QUARTA PRIMEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
TEXTCOLOR(3);
GOTOXY(10,9);WRITELN('A0 = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
END;

```

(** QUINTA TERCEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KCM,KVL,KPE:REAL);
BEGIN
K1:=KK1;K2:=KK2;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;CM:=KCM;VL:=KVL;PE:=KPE;
END;

```

(** SEXTA QUARTA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE AUXIL8;
BEGIN
CO:=0;C1:=0;C2:=0;C3:=0;C4:=0;C5:=0;C6:=0;C7:=0;C8:=0;
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9
END;

```

(** SETIMA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE APR;
BEGIN
  TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(2,2);WRITE('ESTE PROGRAMA DESCREVE O COMPORTAMENTO DA CONMCENTRACAO DE
  AROMATICOS PESADOS');
  GOTOXY(2,3);WRITE('DENTRO DE UM REATOR DO TIPO TUBULAR COM DISPESSAO AXIAL
  SEGUNDO A REDE ABAIXO.');
```

```

  TEXTCOLOR(3);
  GOTOXY(1,5);WRITE( '      AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES  '
  );
  GOTOXY(1,6);WRITE( '      |                                     K2      '
  );
  );
  GOTOXY(1,7);WRITE( '      |           |           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,8);WRITE( '      |      K1      |           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,9);WRITE( '      |           |           K5           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,10);WRITE('      |           \|\|/           \|\|/           \|\|/ '
  );
  );
  GOTOXY(1,11);WRITE('      |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,12);WRITE('      |      NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES  '
  );
  );
  GOTOXY(1,13);WRITE('      |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,14);WRITE('      |           |           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,15);WRITE('      |           |           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,16);WRITE('      |           |           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,17);WRITE('      |      K3           |           |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,18);WRITE('      |           \|\|/           \|\|/           '
  );
  );
  GOTOXY(1,19);WRITE('      |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,20);WRITE('      |-->   PARAFINAS PESADAS ----->   PARAFINAS LEVES  '
  );
  );
  GOTOXY(1,21);WRITE('      |           '
  );
  );
  GOTOXY(1,22);WRITE('      |           K4           /\| '
  );
  );
  GOTOXY(1,23);WRITE('      |           |           '
  );
  );
  TEXTCOLOR(5);
  GOTOXY(57,5);WRITE( 'DIGITE AS CONSTANTES');
```

GOTOXY(57,6);WRITE('CINETICAS : ');
 GOTOXY(57,8);WRITE('K1 (1/h) : ');READLN(KK1);
 GOTOXY(57,9);WRITE('K2 (1/h) : ');READLN(KK2);
 GOTOXY(57,10);WRITE('K3 (1/h) : ');READLN(KK3);
 GOTOXY(57,11);WRITE('K4 (1/h) : ');READLN(KK4);
 GOTOXY(57,12);WRITE('K5 (1/h) : ');READLN(KK5);
 GOTOXY(57,15);WRITE('COMPRIMENTO (m) : ');READLN(KCM);
 GOTOXY(57,17);WRITE('VELOCIDADE (m/s) : ');READLN(KVL);
 GOTOXY(57,19);WRITE('Nº DE PECLET : ');READLN(KPE);
 TEXTCOLOR(4);
 GOTOXY(60,21);WRITELN(' PRESSIONE SPACE ');

```
GOTOXY(76,21);
END;
```

```
(** OITAVA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE RES1;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE AROMATICOS PESADOS AO '
);
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : '
);
END;
```

```
(** NONA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE RES2;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de
arom. pesados. ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
END;
```

```
(** FIM DA PARTE COPIAVEL ----- **)
```

```
(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)
```

```
BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
AUXIL8;
APR;
DADOS(KK1, KK2, KK3, KK4, KK5, KCM, KVL, KPE);
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;
```

```
(** PROCESSO - 1 AROMATICOS PESADOS **)
```

```
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
RES1;
DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);
SIST3(PE, DA, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7);
SIST4(DA, VDA, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7);
SIST(K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K27,
      K31, K32, K33, K34, K35, K36, K37, K41, K42, K43, K44, K45, K46, K47,
      K51, K52, K53, K54, K55, K56, K57, K61, K62, K63, K64, K65, K66, K67,
      K71, K72, K73, K74, K75, K76, K77, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7);
AUXIL6(CO, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8);
RES2;
READ(VX);CLRSCR;

END.
```

```

PROGRAM SISTEMA;      ( AROMATICOS LEVES EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    KAH0,KALO,K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KPE,KK2,KK9,KCM,KVL,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    KK1,KK3,KK4,KK5,VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL;
    TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,HHO,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;

```

```
(** PRIMEIRA PROCEDURE **)
```

```

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
    B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
    A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
    B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
    A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
    B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
    A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
    B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
    A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
    B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
    A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
    B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
    A1[1,J]:=A[1,J];
    B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
    B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
    A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
    B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];

```

```

A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
  B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
  A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
  B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
  A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
  B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
  A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
  B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
  A3[1,J]:=A2[1,J];
  B3[1]:=B2[1];
  A3[2,J]:=A2[2,J];
  B3[2]:=B2[2];
  A3[3,J]:=A2[3,J];
  B3[3]:=B2[3];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
  B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
  A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
  B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
  A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
  B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
  A4[1,J]:=A3[1,J];
  B4[1]:=B3[1];
  A4[2,J]:=A3[2,J];
  B4[2]:=B3[2];
  A4[3,J]:=A3[3,J];
  B4[3]:=B3[3];
  A4[4,J]:=A3[4,J];
  B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];
  A5[5,J]:=A4[5,J];

```



```

    B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
    B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
    A6[1,J]:=A5[1,J];
    B6[1]:=B5[1];
    A6[2,J]:=A5[2,J];
    B6[2]:=B5[2];
    A6[3,J]:=A5[3,J];
    B6[3]:=B5[3];
    A6[4,J]:=A5[4,J];
    B6[4]:=B5[4];
    A6[5,J]:=A5[5,J];
    B6[5]:=B5[5];
    A6[6,J]:=A5[6,J];
    B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

```

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
X:=PC1;
K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC2;
K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC3;
K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC4;
K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC5;
K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
END;

(** TERCEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC2;P2:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC3;P3:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC4;P4:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC5;P5:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC6;P6:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC7;P7:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
END;

(** INICIO DA PARTE COPIAVEL ----- **)

(** QUARTA PRIMEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
TEXTCOLOR(3);
GOTOXY(10,9);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);

```

```
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
END;
```

(** QUINTA TERCEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE DADOS (KK1, KK2, KK3, KK4, KK5, KK9, KCM, KVL, KPE, KAH0, KALO: REAL);
BEGIN
  K1:=KK1; K2:=KK2; K3:=KK3; K4:=KK4; K5:=KK5; K9:=KK9; CM:=KCM; VL:=KVL; PE:=KPE; AHO:=KAH
  O; ALO:=KALO;
END;

```

(** SEXTA OUARTA PROCEDURE **)

```
PROCEDURE AUXIL8;  
BEGIN  
CO:=0;C1:=0;C2:=0;C3:=0;C4:=0;C5:=0;C6:=0;C7:=0;C8:=0;  
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9  
END;
```

(** SETIMA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE APR;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(2,2);WRITE('ESTE PROGRAMA DESCREVE O COMPORTAMENTO DA CONMCENTRACAO DE
AROMATICOS LEVES');
GOTOXY(2,3);WRITE('DENTRO DE UM REATOR DO TIPO TUBULAR COM DISPRESSAO AXIAL
SEGUNDO A REDE ABAIXO.');
```

```

GOTOXY(1,19);WRITE(' |
);
GOTOXY(1,20);WRITE(' |-->  PARAFINAS PESADAS ----->  PARAFINAS LEVES
);
GOTOXY(1,21);WRITE(' |
);
GOTOXY(1,22);WRITE(' |                      K4                      /\
);
GOTOXY(1,23);WRITE(' | _____|
);
TEXTCOLOR(5);
GOTOXY(57,5);WRITE('DIGITE AS CONSTANTES');
GOTOXY(57,6);WRITE('CINETICAS : ');
GOTOXY(57,8);WRITE('K1 (1/h) : ');READLN(KK1);
GOTOXY(57,9);WRITE('K2 (1/h) : ');READLN(KK2);
GOTOXY(57,10);WRITE('K3 (1/h) : ');READLN(KK3);
GOTOXY(57,11);WRITE('K4 (1/h) : ');READLN(KK4);
GOTOXY(57,12);WRITE('K5 (1/h) : ');READLN(KK5);
GOTOXY(57,13);WRITE('K9 (1/h) : ');READLN(KK9);
GOTOXY(57,14);WRITE('COMPRIMENTO (m) : ');READLN(KCM);
GOTOXY(57,15);WRITE('VELOCIDADE (m/s) : ');READLN(KVL);
GOTOXY(57,16);WRITE('Nº DE PECLET : ');READLN(KPE);
GOTOXY(57,17);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KAHO);
GOTOXY(57,18);WRITE('Arom.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KALO);
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(60,21);WRITELN(' PRESSIONE SPACE ');
GOTOXY(76,21);
END;

(** OITAVA PROCEDURE **)

PROCEDURE RES1;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM
');
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE AROMATICOS LEVES AO
');
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR :
');
END;

(** NONA PROCEDURE **)

PROCEDURE RES2;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de
arom. pesados. ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
END;

(** FIM DA PARTE COPIAVEL ----- **)

(** QUINTA PROCEDURE **)

```

```

PROCEDURE AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
DI:=CO;D1:=C1;D2:=C2;D3:=C3;D4:=C4;D5:=C5;D6:=C6;D7:=C7;D8:=C8;
END;

```

```

(** OITAVA PROCEDURE **)

```

```

PROCEDURE AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL);
BEGIN
CO:=DI;C1:=D1;C2:=D2;C3:=D3;C4:=D4;C5:=D5;C6:=D6;C7:=D7;C8:=D8;
END;

```

```

(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)

```

```

BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
APR;
AUXIL8;DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK9,KCM,KVL,KPE,KAHO,KALO);;

```

```

(** PROCESSO - 1 AROMATICOS PESADOS **)

```

```

CLRSCR;
DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);VDA:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);

```

```

(** PROCESSO - 2 AROMATICOS LEVES **)

```

```

CLRSCR;
RES1;
DA:=K9*(CM/VL);VDA:=(K2*CM*AHO/(VL*ALO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
RES2;
READ(VX);CLRSCR;

END.

```

```

PROGRAM SISTEMA; ( NAFTENICOS PESADOS EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    KAH0,KALO,K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KPE,KK2,KK9,KCM,KVL,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    KK1,KK3,KK4,KK5,VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    KK8,KPHO,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    KK7,KK6,GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL;
    KNHO,TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,H0,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;

```

```
(** PRIMEIRA PROCEDURE **)
```

```

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];

```

```

A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
  B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
  A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
  B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
  A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
  B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
  A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
  B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
  A3[1,J]:=A2[1,J];
  B3[1]:=B2[1];
  A3[2,J]:=A2[2,J];
  B3[2]:=B2[2];
  A3[3,J]:=A2[3,J];
  B3[3]:=B2[3];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
  B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
  A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
  B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
  A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
  B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
  A4[1,J]:=A3[1,J];
  B4[1]:=B3[1];
  A4[2,J]:=A3[2,J];
  B4[2]:=B3[2];
  A4[3,J]:=A3[3,J];
  B4[3]:=B3[3];
  A4[4,J]:=A3[4,J];
  B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];
  A5[5,J]:=A4[5,J];

```



```

    B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
    B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
    A6[1,J]:=A5[1,J];
    B6[1]:=B5[1];
    A6[2,J]:=A5[2,J];
    B6[2]:=B5[2];
    A6[3,J]:=A5[3,J];
    B6[3]:=B5[3];
    A6[4,J]:=A5[4,J];
    B6[4]:=B5[4];
    A6[5,J]:=A5[5,J];
    B6[5]:=B5[5];
    A6[6,J]:=A5[6,J];
    B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

```

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
    X:=PC1;
    K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
    K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    X:=PC2;
    K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
    K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
    K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC3;
K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC4;
K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC5;
K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
END;

```

(** TERCEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC2;P2:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC3;P3:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC4;P4:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC5;P5:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC6;P6:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC7;P7:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
END;

```

(** INICIO DA PARTE COPIAVEL ----- **)

(** QUARTA PRIMEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
TEXTCOLOR(3);
GOTOXY(10,9);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);

```

```
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
END;
```

```
(** QUINTA TERCEIRA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KCM,KVL,KPE,KAHO,KNHO:REAL);
BEGIN
K1:=KK1;K2:=KK2;K6:=KK6;K7:=KK7;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;CM:=KCM;VL:=KVL;PE:=KPE;
AHO:=KAHO;NHO:=KNHO;
END;
```

```
(** SEXTA QUARTA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE AUXIL8;
BEGIN
CO:=0;C1:=0;C2:=0;C3:=0;C4:=0;C5:=0;C6:=0;C7:=0;C8:=0;
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9
END;
```

```
(** SETIMA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE APR;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(2,2);WRITE('ESTE PROGRAMA DESCREVE O COMPORTAMENTO DA CONMCENTRACAO DE
NAFTENICOS PESADOS');
GOTOXY(2,3);WRITE('DENTRO DE UM REATOR DO TIPO TUBULAR COM DISPESSAO AXIAL
SEGUNDO A REDE ABAIXO.');
```

TEXTCOLOR(3);		
GOTOXY(1,5);WRITE('	_____ AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES	'
)		
GOTOXY(1,6);WRITE('	K2	'
)		
GOTOXY(1,7);WRITE('		'
)		
GOTOXY(1,8);WRITE('	K1 _____ K9	'
)		
GOTOXY(1,9);WRITE('	K5	'
)		
GOTOXY(1,10);WRITE('	\ / \ / \ /	'
)		
GOTOXY(1,11);WRITE('	K6	'
)		
GOTOXY(1,12);WRITE('	NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES	'
)		
GOTOXY(1,13);WRITE('		'
)		
GOTOXY(1,14);WRITE('	K7	'
)		
GOTOXY(1,15);WRITE('	_____	'
)		
GOTOXY(1,16);WRITE('		'
)		
GOTOXY(1,17);WRITE('	K3	'
)		
GOTOXY(1,18);WRITE('	\ / \ /	'
)		

```

GOTOXY(1,19);WRITE(' |                                K8                                '
);
GOTOXY(1,20);WRITE(' |-->  PARAFINAS PESADAS ----->  PARAFINAS LEVES  '
);
GOTOXY(1,21);WRITE(' |                                '
);
GOTOXY(1,22);WRITE(' |                                K4                                /\ '
);
GOTOXY(1,23);WRITE(' | _____ | '
);
TEXTCOLOR(5);
GOTOXY(57,5);WRITE( 'DIGITE AS CONSTANTES');
GOTOXY(57,6);WRITE( 'CINETICAS : ' );
GOTOXY(57,8);WRITE( 'K1 (1/h)   : ' );READLN(KK1);
GOTOXY(57,9);WRITE( 'K2 (1/h)   : ' );READLN(KK2);
GOTOXY(57,10);WRITE('K3 (1/h)   : ' );READLN(KK3);
GOTOXY(57,11);WRITE('K4 (1/h)   : ' );READLN(KK4);
GOTOXY(57,12);WRITE('K5 (1/h)   : ' );READLN(KK5);
GOTOXY(57,13);WRITE('K6 (1/h)   : ' );READLN(KK6);
GOTOXY(57,14);WRITE('K7 (1/h)   : ' );READLN(KK7);
GOTOXY(57,15);WRITE('COMPRIMENTO (m)   : ' );READLN(KCM);
GOTOXY(57,16);WRITE('VELOCIDADE (m/s)   : ' );READLN(KVL);
GOTOXY(57,17);WRITE('Nº DE PECLET      : ' );READLN(KPE);
GOTOXY(57,18);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ' );READLN(KAHO);
GOTOXY(57,19);WRITE('Naft.Pes.Inic.( M ) : ' );READLN(KNHO);
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(60,21);WRITELN(' PRESSIONE SPACE ');
GOTOXY(76,21);
END;

```

(** OITAVA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE RES1;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE NAFTENICOS PESADOS AO '
);
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : '
);
END;

```

(** NONA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE RES2;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de
arom. pesados. ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ' );
END;

```

(** FIM DA PARTE COPIAVEL

----- **)

```
(** QUINTA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
DI:=CO;D1:=C1;D2:=C2;D3:=C3;D4:=C4;D5:=C5;D6:=C6;D7:=C7;D8:=C8;
END;
```

```
(** OITAVA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL);
BEGIN
CO:=DI;C1:=D1;C2:=D2;C3:=D3;C4:=D4;C5:=D5;C6:=D6;C7:=D7;C8:=D8;
END;
```

```
(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)
```

```
BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
APR;
AUXIL8;DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KCM,KVL,KPE,KAHO,KNHO);;
```

```
(** PROCESSO - 1 AROMATICOS PESADOS **)
```

```
CLRSCR;
DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);VDA:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
```

```
(** PROCESSO - 2 NAFTALENOS PESADOS **)
```

```
CLRSCR;
RES1;
DA:=(K6+K7)*(CM/VL);VDA:=(K1*CM*AHO/(VL*NHO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
RES2;
READ(VX);CLRSCR;

END.
```

```

PROGRAM SISTEMA;          ( NAFTENICOS LEVES EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    KAH0,KALO,K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KPE,KK2,KK9,KCM,KVL,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    KK1,KK3,KK4,KK5,VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    KK6,KK7,KK8,KK10,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    KNHO,KNLO,GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL;

KPHO,KPLO,TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,HHO,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;

BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
    B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
    A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
    B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
    A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
    B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
    A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
    B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
    A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
    B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
    A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
    B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
    A1[1,J]:=A[1,J];
    B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
    B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
    A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
    B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];
    A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];

```

```

B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
A3[1,J]:=A2[1,J];
B3[1]:=B2[1];
A3[2,J]:=A2[2,J];
B3[2]:=B2[2];
A3[3,J]:=A2[3,J];
B3[3]:=B2[3];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
A4[1,J]:=A3[1,J];
B4[1]:=B3[1];
A4[2,J]:=A3[2,J];
B4[2]:=B3[2];
A4[3,J]:=A3[3,J];
B4[3]:=B3[3];
A4[4,J]:=A3[4,J];
B4[4]:=B3[4];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
A5[1,J]:=A4[1,J];
B5[1]:=B4[1];
A5[2,J]:=A4[2,J];
B5[2]:=B4[2];
A5[3,J]:=A4[3,J];
B5[3]:=B4[3];
A5[4,J]:=A4[4,J];
B5[4]:=B4[4];
A5[5,J]:=A4[5,J];
B5[5]:=B4[5];

```



```

END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
  B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
  A6[1,J]:=A5[1,J];
  B6[1]:=B5[1];
  A6[2,J]:=A5[2,J];
  B6[2]:=B5[2];
  A6[3,J]:=A5[3,J];
  B6[3]:=B5[3];
  A6[4,J]:=A5[4,J];
  B6[4]:=B5[4];
  A6[5,J]:=A5[5,J];
  B6[5]:=B5[5];
  A6[6,J]:=A5[6,J];
  B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

```

```

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
X:=PC1;
K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC2;
K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

X:=PC3;
K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC4;
K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC5;
K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
END;

```

PROCEDURE

```

SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC2;P2:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC3;P3:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC4;P4:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC5;P5:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC6;P6:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC7;P7:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5
*LN(X))+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
END;

```

PROCEDURE

```

SIST5(DA,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7
,E8,
      DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,
      F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(
5*LN(X))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(
5*LN(X))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-

```

$$\begin{aligned} & \text{VDA3}^* (\text{GI} + \text{G1}^* \text{EXP}(1 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G2}^* \text{EXP}(2 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G3}^* \text{EXP}(3 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G4}^* \text{EXP}(4 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G5}^* \text{EXP}(\\ & \quad 5 * \text{LN}(\text{X})) + \\ & \quad \text{G6}^* \text{EXP}(6 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G7}^* \text{EXP}(7 * \text{LN}(\text{X})) + \text{G8}^* \text{EXP}(8 * \text{LN}(\text{X})))) - \end{aligned}$$
$$VDA4 * (F1 + F1 * \exp(1 * \ln(X)) + F2 * \exp(2 * \ln(X)) + F3 * \exp(3 * \ln(X)) + F4 * \exp(4 * \ln(X)) + F5 * \exp(5 * \ln(X)) + F6 * \exp(6 * \ln(X)) + F7 * \exp(7 * \ln(X)) + F8 * \exp(8 * \ln(X))) ;$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA1* (EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(} \\ & \quad \text{5*LN(X))+} \\ & \quad \text{E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))} - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA2* (DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(} \\ & \quad \text{5*LN(X))+} \\ & \quad \text{D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X))) -} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA3} * (\text{GI} + \text{G1} * \text{EXP}(1 * \text{LN}(X)) + \text{G2} * \text{EXP}(2 * \text{LN}(X)) + \text{G3} * \text{EXP}(3 * \text{LN}(X)) + \text{G4} * \text{EXP}(4 * \text{LN}(X)) + \text{G5} * \text{EXP}(5 * \text{LN}(X)) + \\ & \quad \text{G6} * \text{EXP}(6 * \text{LN}(X)) + \text{G7} * \text{EXP}(7 * \text{LN}(X)) + \text{G8} * \text{EXP}(8 * \text{LN}(X))) - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA4} * (\text{FI} + \text{F1} * \text{EXP}(1 * \text{LN}(X)) + \text{F2} * \text{EXP}(2 * \text{LN}(X)) + \text{F3} * \text{EXP}(3 * \text{LN}(X)) + \text{F4} * \text{EXP}(4 * \text{LN}(X)) + \text{F5} * \text{EXP}(\\ & 5 * \text{LN}(X)) + \\ & \text{F6} * \text{EXP}(6 * \text{LN}(X)) + \text{F7} * \text{EXP}(7 * \text{LN}(X)) + \text{F8} * \text{EXP}(8 * \text{LN}(X))) ; \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA1} * (\text{EI} + \text{E1} * \text{EXP}(1 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E2} * \text{EXP}(2 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E3} * \text{EXP}(3 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E4} * \text{EXP}(4 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E5} * \text{EXP}(\\ & 5 * \text{LN}(\text{X})) + \\ & \text{E6} * \text{EXP}(6 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E7} * \text{EXP}(7 * \text{LN}(\text{X})) + \text{E8} * \text{EXP}(8 * \text{LN}(\text{X}))) - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA2* (DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(} \\ & \quad \text{5*LN(X))+} \\ & \quad \text{D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X))) -} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA3*} (\text{GI} + \text{G1*EXP} (1 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G2*EXP} (2 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G3*EXP} (3 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G4*EXP} (4 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G5*EXP} (\\ & 5 * \text{LN} (\text{X})) + \\ & \text{G6*EXP} (6 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G7*EXP} (7 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G8*EXP} (8 * \text{LN} (\text{X}))) - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} &VDA4*(FI+F1*EXP(1*LN(X))+F2*EXP(2*LN(X))+F3*EXP(3*LN(X))+F4*EXP(4*LN(X))+F5*EXP(\\ &5*LN(X))+F6*EXP(6*LN(X))+F7*EXP(7*LN(X))+F8*EXP(8*LN(X)))); \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA1} * (\text{EI} + \text{E1} * \text{EXP}(1 * \text{LN}(X)) + \text{E2} * \text{EXP}(2 * \text{LN}(X)) + \text{E3} * \text{EXP}(3 * \text{LN}(X)) + \text{E4} * \text{EXP}(4 * \text{LN}(X)) + \text{E5} * \text{EXP}(5 * \text{LN}(X)) + \\ & \text{E6} * \text{EXP}(6 * \text{LN}(X)) + \text{E7} * \text{EXP}(7 * \text{LN}(X)) + \text{E8} * \text{EXP}(8 * \text{LN}(X))) - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA2*} (\text{DI} + \text{D1*EXP} (1*\text{LN} (\text{X})) + \text{D2*EXP} (2*\text{LN} (\text{X})) + \text{D3*EXP} (3*\text{LN} (\text{X})) + \text{D4*EXP} (4*\text{LN} (\text{X})) + \text{D5*EXP} (\\ & 5*\text{LN} (\text{X})) + \\ & \text{D6*EXP} (6*\text{LN} (\text{X})) + \text{D7*EXP} (7*\text{LN} (\text{X})) + \text{D8*EXP} (8*\text{LN} (\text{X}))) - \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} & \text{VDA3*} (\text{GI} + \text{G1*EXP} (1 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G2*EXP} (2 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G3*EXP} (3 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G4*EXP} (4 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G5*EXP} (\\ & 5 * \text{LN} (\text{X})) + \\ & \text{G6*EXP} (6 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G7*EXP} (7 * \text{LN} (\text{X})) + \text{G8*EXP} (8 * \text{LN} (\text{X}))) - \end{aligned}$$

```
VDA4*(FI+F1*EXP(1*LN(X))+F2*EXP(2*LN(X))+F3*EXP(3*LN(X))+F4*EXP(4*LN(X))+F5*EXP(
5*LN(X))+
F6*EXP(6*LN(X))+F7*EXP(7*LN(X))+F8*EXP(8*LN(X))));
```

$$\begin{aligned} & \text{VDA1} * (\text{EI} + \text{E1} * \exp(1 * \ln(X)) + \text{E2} * \exp(2 * \ln(X)) + \text{E3} * \exp(3 * \ln(X)) + \text{E4} * \exp(4 * \ln(X)) + \text{E5} * \exp(5 * \ln(X)) + \\ & \quad \text{E6} * \exp(6 * \ln(X)) + \text{E7} * \exp(7 * \ln(X)) + \text{E8} * \exp(8 * \ln(X))) - \end{aligned}$$

```
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(
5*LN(X))+
D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(
5*LN(X))+
G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA4*(FI+F1*EXP(1*LN(X))+F2*EXP(2*LN(X))+F3*EXP(3*LN(X))+F4*EXP(4*LN(X))+F5*EXP(
5*LN(X))+
F6*EXP(6*LN(X))+F7*EXP(7*LN(X))+F8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
X:=PC6;P6:=DA-
```

```
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(
5*LN(X))+
E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(
5*LN(X))+
D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(
5*LN(X))+
G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA4*(FI+F1*EXP(1*LN(X))+F2*EXP(2*LN(X))+F3*EXP(3*LN(X))+F4*EXP(4*LN(X))+F5*EXP(
5*LN(X))+
F6*EXP(6*LN(X))+F7*EXP(7*LN(X))+F8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
X:=PC7;P7:=DA-
```

```
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(
5*LN(X))+
E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(
5*LN(X))+
D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(
5*LN(X))+
G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
VDA4*(FI+F1*EXP(1*LN(X))+F2*EXP(2*LN(X))+F3*EXP(3*LN(X))+F4*EXP(4*LN(X))+F5*EXP(
5*LN(X))+
F6*EXP(6*LN(X))+F7*EXP(7*LN(X))+F8*EXP(8*LN(X)))-
```

```
END;
```

```
PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
```

```
BEGIN
```

```
TEXTCOLOR(3);
```

```
GOTOXY(10,9);WRITELN('A0 = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
```

```
GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
```

```
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
```

```
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
```

```
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
```

```
END;
```

```
PROCEDURE
```

```
DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KCM,KVL,KPE,KAHO,KALO,KNHO,KNLO,K
PHO,KPLO:REAL);
```

```
BEGIN
```

```

K1:=KK1;K2:=KK2;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;K6:=KK6;K7:=KK7;K8:=KK8;NLO:=KNLO;PLO:=K
PLO;
K9:=KK9;K10:=KK10;CM:=KCM;VL:=KVL;PE:=KPE;AHO:=KAHO;ALO:=KALO;NHO:=KNHO;PHO:=KPH
O;
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL8;
BEGIN
CO:=0;C1:=0;C2:=0;C3:=0;C4:=0;C5:=0;C6:=0;C7:=0;C8:=0;
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9
END;

```

```

PROCEDURE APR;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(2,2);WRITE('ESTE PROGRAMA DESCREVE O COMPORTAMENTO DA CONMCENTRACAO DE
NAFTENICOS LEVES');
GOTOXY(2,3);WRITE('DENTRO DE UM REATOR DO TIPO TUBULAR COM DISPESSAO AXIAL
SEGUNDO A REDE ABAIXO. ');
TEXTCOLOR(3);
GOTOXY(1,5);WRITE('  _____ AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES  '
);
GOTOXY(1,6);WRITE('  |                                     K2                                     |  '
);
);
GOTOXY(1,7);WRITE('  |           |           |           |           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,8);WRITE('  |   K1   |           | _____ |           |   K9   |  '
);
);
GOTOXY(1,9);WRITE('  |           |           K5           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,10);WRITE('  |           \|\|/           \|\|/           \|\|/           |  '
);
);
GOTOXY(1,11);WRITE('  |                                     K6                                     |  '
);
);
GOTOXY(1,12);WRITE('  |           NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES  '
);
);
GOTOXY(1,13);WRITE('  |                                     K6                                     |  '
);
);
GOTOXY(1,14);WRITE('  |           |           |           |           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,15);WRITE('  |           | _____ |           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,16);WRITE('  |           K7           |           |           |           |   K10   |  '
);
);
GOTOXY(1,17);WRITE('  |   K3   |           |           |           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,18);WRITE('  |           \|\|/           \|\|/           |  '
);
);
GOTOXY(1,19);WRITE('  |                                     K6                                     |  '
);
);
GOTOXY(1,20);WRITE('  |-->  PARAFINAS PESADAS ----->  PARAFINAS LEVES  '
);
);
GOTOXY(1,21);WRITE('  |                                     K6                                     |  '
);
);
GOTOXY(1,22);WRITE('  |           K4           |           |           |           |           |  '
);
);
GOTOXY(1,23);WRITE('  | _____ |           |           |           |           |           |  '
);
);
TEXTCOLOR(5);
GOTOXY(57,5);WRITE('DIGITE AS CONSTANTES');

```

```

GOTOXY(57,6);WRITE('K1 (1/h)  : ');READLN(KK1);
GOTOXY(57,7);WRITE('K2 (1/h)  : ');READLN(KK2);
GOTOXY(57,8);WRITE('K3 (1/h)  : ');READLN(KK3);
GOTOXY(57,9);WRITE('K4 (1/h)  : ');READLN(KK4);
GOTOXY(57,10);WRITE('K5 (1/h)  : ');READLN(KK5);
GOTOXY(57,11);WRITE('K6 (1/h)  : ');READLN(KK6);
GOTOXY(57,12);WRITE('K7 (1/h)  : ');READLN(KK7);
GOTOXY(57,13);WRITE('K8 (1/h)  : ');READLN(KK8);
GOTOXY(57,14);WRITE('K9 (1/h)  : ');READLN(KK9);
GOTOXY(57,15);WRITE('K10 (1/h) : ');READLN(KK10);
GOTOXY(57,16);WRITE('COMPRIMENTO (m) : ');READLN(KCM);
GOTOXY(57,17);WRITE('VELOCIDADE (m/s) : ');READLN(KVL);
GOTOXY(57,18);WRITE('Nº DE PECLET      : ');READLN(KPE);
GOTOXY(57,19);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KAHO);
GOTOXY(57,20);WRITE('Arom.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KALO);
GOTOXY(57,21);WRITE('Naft.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KNHO);
GOTOXY(57,22);WRITE('Naft.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KNLO);
GOTOXY(57,23);WRITE('Parf.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KPHO);
GOTOXY(57,24);WRITE('Parf.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KPLO);
END;

```

```

PROCEDURE RES1;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE NAFTENICOS LEVES AO '
);
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : '
);
END;

```

```

PROCEDURE RES2;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de
arom. pesados. ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
DI:=CO;D1:=C1;D2:=C2;D3:=C3;D4:=C4;D5:=C5;D6:=C6;D7:=C7;D8:=C8;
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL);
BEGIN
CO:=DI;C1:=D1;C2:=D2;C3:=D3;C4:=D4;C5:=D5;C6:=D6;C7:=D7;C8:=D8;
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL1(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
EI:=CO;E1:=C1;E2:=C2;E3:=C3;E4:=C4;E5:=C5;E6:=C6;E7:=C7;E8:=C8;
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL4(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN

```

```
GI:=CO;G1:=C1;G2:=C2;G3:=C3;G4:=C4;G5:=C5;G6:=C6;G7:=C7;G8:=C8;
END;
```

```
BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
APR;
AUXIL8;DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KCM,KVL,KPE,KAHO,KALO,KNHO
,KNLO,KPHO,KPLO);
```

```
CLRSCR;
DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);VDA:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
```

```
DA:=K9*(CM/VL);VDA:=(K2*CM*AHO/(VL*ALO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL1(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
```

```
DA:=(K6+K7)*(CM/VL);VDA:=(K1*CM*AHO/(VL*NHO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL4(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
```

```
CLRSCR;
RES1;
DA:=K10*(CM/VL);VDA1:=(K9*CM*ALO/(VL*NLO));VDA2:=(K5*CM*AHO/(VL*NLO));VDA3:=(K6*
CM*NHO/(VL*NLO));VDA4:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST5(DA,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7
,E8,
      DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8,GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,
      F3,F4,F5,F6,F7,F8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
RES2;
READ(VX);

END.
```



```

PROGRAM SISTEMA; ( PARAFINAS PESADAS EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    KAH0,KALO,K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KPE,KK2,KK9,KCM,KVL,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    KK1,KK3,KK4,KK5,VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    KK8,KPHO,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8,FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8:REAL;
    TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8,HHO,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;

```

```

(** PRIMEIRA PROCEDURE **)

```

```

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];

```

```

A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
A3[1,J]:=A2[1,J];
B3[1]:=B2[1];
A3[2,J]:=A2[2,J];
B3[2]:=B2[2];
A3[3,J]:=A2[3,J];
B3[3]:=B2[3];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
A4[1,J]:=A3[1,J];
B4[1]:=B3[1];
A4[2,J]:=A3[2,J];
B4[2]:=B3[2];
A4[3,J]:=A3[3,J];
B4[3]:=B3[3];
A4[4,J]:=A3[4,J];
B4[4]:=B3[4];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
A5[1,J]:=A4[1,J];
B5[1]:=B4[1];
A5[2,J]:=A4[2,J];
B5[2]:=B4[2];
A5[3,J]:=A4[3,J];
B5[3]:=B4[3];
A5[4,J]:=A4[4,J];
B5[4]:=B4[4];
A5[5,J]:=A4[5,J];

```

```

    B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
    A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
    B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
    A6[1,J]:=A5[1,J];
    B6[1]:=B5[1];
    A6[2,J]:=A5[2,J];
    B6[2]:=B5[2];
    A6[3,J]:=A5[3,J];
    B6[3]:=B5[3];
    A6[4,J]:=A5[4,J];
    B6[4]:=B5[4];
    A6[5,J]:=A5[5,J];
    B6[5]:=B5[5];
    A6[6,J]:=A5[6,J];
    B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8)*(C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

```

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
X:=PC1;
K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC2;
K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```
K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC3;
K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC4;
K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC5;
K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
```

```

X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
END;

```

(** TERCEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE

SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);

BEGIN

X:=PC1;P1:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC2;P2:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC3;P3:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC4;P4:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC5;P5:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC6;P6:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

X:=PC7;P7:=DA-

VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))+
C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));

END;

(** INICIO DA PARTE COPIAVEL

----- **)

(** QUARTA PRIMEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);

BEGIN

TEXTCOLOR(3);

GOTOXY(10,9);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);

GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);

```
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
END;
```

```
(** QUINTA TERCEIRA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK9,KCM,KVL,KPE,KAHO,KPHO:REAL);
BEGIN
K1:=KK1;K2:=KK2;K8:=KK8;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;CM:=KCM;VL:=KVL;PE:=KPE;AHO:=KAH
O;PHO:=KPHO;
END;
```

```
(** SEXTA QUARTA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE AUXIL8;
BEGIN
CO:=0;C1:=0;C2:=0;C3:=0;C4:=0;C5:=0;C6:=0;C7:=0;C8:=0;
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9
END;
```

```
(** SETIMA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE APR;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(2,2);WRITE('ESTE PROGRAMA DESCREVE O COMPORTAMENTO DA CONMCENTRACAO DE
PARAFINAS PESADAS');
GOTOXY(2,3);WRITE('DENTRO DE UM REATOR DO TIPO TUBULAR COM DISPESAO AXIAL
SEGUNDO A REDE ABAIXO.');
```

TEXTCOLOR(3);	
GOTOXY(1,5);WRITE('	_____ AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES
GOTOXY(1,6);WRITE('	K2
GOTOXY(1,7);WRITE('	
GOTOXY(1,8);WRITE('	K1 _____ K9
GOTOXY(1,9);WRITE('	K5
GOTOXY(1,10);WRITE('	\\// \\// \\//
GOTOXY(1,11);WRITE('	
GOTOXY(1,12);WRITE('	K6
GOTOXY(1,13);WRITE('	NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES
GOTOXY(1,14);WRITE('	
GOTOXY(1,15);WRITE('	K7 _____ K10
GOTOXY(1,16);WRITE('	
GOTOXY(1,17);WRITE('	K3
GOTOXY(1,18);WRITE('	\\// \\//

```

GOTOXY(1,19);WRITE(' |                                K8                                '
);
GOTOXY(1,20);WRITE(' |-->   PARAFINAS PESADAS ----->   PARAFINAS LEVES   '
);
GOTOXY(1,21);WRITE(' |                                '
);
GOTOXY(1,22);WRITE(' |                                K4                                /\ '
);
GOTOXY(1,23);WRITE(' | _____ |                                '
);
TEXTCOLOR(5);
GOTOXY(57,5);WRITE('DIGITE AS CONSTANTES');
GOTOXY(57,6);WRITE('CINETICAS : ');
GOTOXY(57,8);WRITE('K1 (1/h) : ');READLN(KK1);
GOTOXY(57,9);WRITE('K2 (1/h) : ');READLN(KK2);
GOTOXY(57,10);WRITE('K3 (1/h) : ');READLN(KK3);
GOTOXY(57,11);WRITE('K4 (1/h) : ');READLN(KK4);
GOTOXY(57,12);WRITE('K5 (1/h) : ');READLN(KK5);
GOTOXY(57,13);WRITE('K8 (1/h) : ');READLN(KK8);
GOTOXY(57,15);WRITE('COMPRIMENTO (m) : ');READLN(KCM);
GOTOXY(57,16);WRITE('VELOCIDADE (m/s) : ');READLN(KVL);
GOTOXY(57,17);WRITE('Nº DE PECLET : ');READLN(KPE);
GOTOXY(57,18);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KAHO);
GOTOXY(57,19);WRITE('Parf.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KPHO);
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(60,21);WRITELN(' PRESSIONE SPACE ');
GOTOXY(76,21);
END;

(** OITAVA PROCEDURE **)

PROCEDURE RES1;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE PARAFINAS PESADAS AO '
);
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : '
);
END;

(** NONA PROCEDURE **)

PROCEDURE RES2;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de
arom. pesados. ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
TEXTCOLOR(4);
GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
END;

(** FIM DA PARTE COPIAVEL ----- **)

(** QUINTA PROCEDURE **)

```

```

PROCEDURE AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
DI:=CO;D1:=C1;D2:=C2;D3:=C3;D4:=C4;D5:=C5;D6:=C6;D7:=C7;D8:=C8;
END;

(** OITAVA PROCEDURE **)

PROCEDURE AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL);
BEGIN
CO:=DI;C1:=D1;C2:=D2;C3:=D3;C4:=D4;C5:=D5;C6:=D6;C7:=D7;C8:=D8;
END;

(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)

BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
APR;
AUXIL8;DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK8,KCM,KVL,KPE,KAHO,KPHO);;

(** PROCESSO - 1  AROMATICOS PESADOS **)

CLRSCR;
DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);VDA:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);

(** PROCESSO - 2  PARAFINAS PESADAS **)

CLRSCR;
RES1;
DA:=K8*(CM/VL);VDA:=(K3*CM*AHO/(VL*PHO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
RES2;
READ(VX);CLRSCR;

END.

```


UNIT AZ; (UNIT QUE POSSIBILITA EXECUTAR O PROGRAMA DAS PARAFINAS LEVES)

INTERFACE

USES GRAPH,CRT;

```
VAR
  A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
  A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
  CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
  I,J:INTEGER;
```

PROCEDURE APRR;

IMPLEMENTATION

(** SETIMA PROCEDURE **)

PROCEDURE APRR;

BEGIN

TEXTCOLOR(3);

GOTOXY(1,5);WRITE(' _____ AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES ')

GOTOXY(1,6);WRITE(' | | | | | K2 | | | | | ')

GOTOXY(1,7);WRITE(' | | | | | | | | | | | ')

GOTOXY(1,8);WRITE(' | | K1 | | | | | K9 | | | | | ')

GOTOXY(1,9);WRITE(' | | | | | K5 | | | | | ')

GOTOXY(1,10);WRITE(' | | \\\ / | | | | | \\\ / | | | | | ')

GOTOXY(1,11);WRITE(' | | | | | K6 | | | | | ')

GOTOXY(1,12);WRITE(' | | NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES ')

GOTOXY(1,13);WRITE(' | | | | | | | | | | | ')

GOTOXY(1,14);WRITE(' | | | | | K7 | | | | | ')

GOTOXY(1,15);WRITE(' | | | | | | | | | | | K10 ')

GOTOXY(1,16);WRITE(' | | | | | | | | | | | ')

GOTOXY(1,17);WRITE(' | | K3 | | | | | | | | | | | ')

GOTOXY(1,18);WRITE(' | | | | | \\\ / | | | | | \\\ / | | | | | ')

GOTOXY(1,19);WRITE(' | | | | | K8 | | | | | ')

GOTOXY(1,20);WRITE(' | --> PARAFINAS PESADAS -----> PARAFINAS LEVES ')

GOTOXY(1,21);WRITE(' | | | | | | | | | | | ')

GOTOXY(1,22);WRITE(' | | | | | K4 | | | | | /\\ ')

GOTOXY(1,23);WRITE(' | | | | | | | | | | | ')

END;

```

PROGRAM SISTEMA; ( PARAFINAS LEVES EM REATOR TUBULAR )
USES CRT,AZ;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    KAH0,KALO,K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
SA1,SA2,VDA1,VDA2,VDA3,VDA4,KPE,KK2,KK9,PCM,KVL,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    KK1,KK3,KK4,KK5,VDA,VX,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    KK6,KK7,KK8,KK10,EI,E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL;
    FI,F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,KNHO,KNLO,GI,G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7,G8:REAL;
    HHO,HH1,HH2,HH3,HH4,HH5,HH6,HH7,HH8,KPHO,KPLO,TI,T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8:REAL;
    AHO,ALO,NHO,NLO,PHO,PLO,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,CM,VL:REAL;N:INTEGER;
PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];
A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];

```

```

B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
  B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
  A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
  B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
  A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
  B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
  A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
  B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
  A3[1,J]:=A2[1,J];
  B3[1]:=B2[1];
  A3[2,J]:=A2[2,J];
  B3[2]:=B2[2];
  A3[3,J]:=A2[3,J];
  B3[3]:=B2[3];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
  B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
  A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
  B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
  A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
  B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
  A4[1,J]:=A3[1,J];
  B4[1]:=B3[1];
  A4[2,J]:=A3[2,J];
  B4[2]:=B3[2];
  A4[3,J]:=A3[3,J];
  B4[3]:=B3[3];
  A4[4,J]:=A3[4,J];
  B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];
  A5[5,J]:=A4[5,J];
  B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO

```

BEGIN

```

A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
A6[1,J]:=A5[1,J];
B6[1]:=B5[1];
A6[2,J]:=A5[2,J];
B6[2]:=B5[2];
A6[3,J]:=A5[3,J];
B6[3]:=B5[3];
A6[4,J]:=A5[4,J];
B6[4]:=B5[4];
A6[5,J]:=A5[5,J];
B6[5]:=B5[5];
A6[6,J]:=A5[6,J];
B6[6]:=B5[6];

```

END;

C7:=B6[7]/A6[7,7];

C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];

C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];

C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];

C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];

C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];

C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-A6[1,2]*C2)/A6[1,1];

CO:=1+C1/PE;

C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);

END;

PROCEDURE SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);

BEGIN

X:=PC1;

K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

X:=PC2;

K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

X:=PC3;

K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);

[illegible]

```

END;
PROCEDURE SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
X:=PC1;P1:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC2;P2:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC3;P3:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC4;P4:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC5;P5:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC6;P6:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC7;P7:=DA-
VDA*(CO+C1*EXP(1*LN(X))+C2*EXP(2*LN(X))+C3*EXP(3*LN(X))+C4*EXP(4*LN(X))+C5*EXP(5*LN(X))
)+
      C6*EXP(6*LN(X))+C7*EXP(7*LN(X))+C8*EXP(8*LN(X)));
END;

```

```

PROCEDURE AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL);
BEGIN
TEXTCOLOR(3);
GOTOXY(10,9);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,13);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,14);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,15);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,16);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,17);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);

END;
PROCEDURE
DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KCM,KVL,KPE,KAHO,KALO,KNHO,KNLO,KPHO,KF
LO:REAL);
BEGIN
K1:=KK1;K2:=KK2;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;K6:=KK6;K7:=KK7;K8:=KK8;NLO:=KNLO;PLO:=KPLO;
K9:=KK9;K10:=KK10;CM:=KCM;VL:=KVL;PE:=KPE;AHO:=KAHO;ALO:=KALO;NHO:=KNHO;PHO:=KPHO;
END;
PROCEDURE APR;
BEGIN
TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(5,1);WRITELN('PROGRAMA PARA CALCULO DO COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE
PARAFINAS ');
GOTOXY(5,2);WRITELN('LEVES NA REDE DE HIDROCRAQUEAMENTO EM UM REATOR TUBULAR COM
DISPERSAO');
GOTOXY(5,3);WRITELN('AXIAL. DIGITE AS CONSTANTES A SEGUIR : ');
TEXTCOLOR(5);
GOTOXY(57,6);WRITE('K1 (1/h)  : ');READLN(KK1);

```

```

GOTOXY(57,7);WRITE('K2 (1/h)  : ');READLN(KK2);
GOTOXY(57,8);WRITE('K3 (1/h)  : ');READLN(KK3);
GOTOXY(57,9);WRITE('K4 (1/h)  : ');READLN(KK4);
GOTOXY(57,10);WRITE('K5 (1/h)  : ');READLN(KK5);
GOTOXY(57,11);WRITE('K6 (1/h)  : ');READLN(KK6);
GOTOXY(57,12);WRITE('K7 (1/h)  : ');READLN(KK7);
GOTOXY(57,13);WRITE('K8 (1/h)  : ');READLN(KK8);
GOTOXY(57,14);WRITE('K9 (1/h)  : ');READLN(KK9);
GOTOXY(57,15);WRITE('K10 (1/h) : ');READLN(KK10);
GOTOXY(57,16);WRITE('COMPRIMENTO (m) : ');READLN(KCM);
GOTOXY(57,17);WRITE('VELOCIDADE (m/s) : ');READLN(KVL);
GOTOXY(57,18);WRITE('Nº DE PECLET : ');READLN(KPE);
GOTOXY(57,19);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KAHO);
GOTOXY(57,20);WRITE('Arom.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KALO);
GOTOXY(57,21);WRITE('Naft.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KNHO);
GOTOXY(57,22);WRITE('Naft.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KNLO);
GOTOXY(57,23);WRITE('Parf.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KPHO);
GOTOXY(57,24);WRITE('Parf.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KPLO);
END;
PROCEDURE AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8:REAL);
BEGIN
CO:=DI;C1:=D1;C2:=D2;C3:=D3;C4:=D4;C5:=D5;C6:=D6;C7:=D7;C8:=D8;
END;
BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
APRR;APR;
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9;
DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KCM,KVL,KPE,KAHO,KALO,KNHO,KNLO,KPHO,KP
LO);
CLRSCR;

DA:=(K1+K2+K3+K4+K5)*(CM/VL);VDA:=0;
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
DI:=CO;D1:=C1;D2:=C2;D3:=C3;D4:=C4;D5:=C5;D6:=C6;D7:=C7;D8:=C8;

DA:=K9*(CM/VL);VDA:=(K2*CM*AHO/(VL*ALO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
EI:=CO;E1:=C1;E2:=C2;E3:=C3;E4:=C4;E5:=C5;E6:=C6;E7:=C7;E8:=C8;

DA:=(K6+K7)*(CM/VL);VDA:=(K1*CM*AHO/(VL*NHO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
GI:=CO;G1:=C1;G2:=C2;G3:=C3;G4:=C4;G5:=C5;G6:=C6;G7:=C7;G8:=C8;

```

```

DA:=K8*(CM/VL);VDA:=(K3*CM*AHO/(VL*PHO));
AUXIL3(DI,D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8);
SIST4(DA,VDA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
FI:=CO;F1:=C1;F2:=C2;F3:=C3;F4:=C4;F5:=C5;F6:=C6;F7:=C7;F8:=C8;

DA:=K10*(CM/VL);VDA1:=(K9*CM*ALO/(VL*NLO));VDA2:=(K5*CM*AHO/(VL*NLO));VDA3:=(K6*CM*NHO
/(VL*NLO));
SIST3(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
X:=PC1;P1:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)
))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)
))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)
))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC2;P2:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)
))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)
))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)
))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC3;P3:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)
))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)
))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)
))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X)));
X:=PC4;P4:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)
))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)
))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)
))+

```



```

      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X));
X:=PC5;P5:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X));
X:=PC6;P6:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X));
X:=PC7;P7:=DA-
VDA1*(EI+E1*EXP(1*LN(X))+E2*EXP(2*LN(X))+E3*EXP(3*LN(X))+E4*EXP(4*LN(X))+E5*EXP(5*LN(X)))+
      E6*EXP(6*LN(X))+E7*EXP(7*LN(X))+E8*EXP(8*LN(X)))-
VDA2*(DI+D1*EXP(1*LN(X))+D2*EXP(2*LN(X))+D3*EXP(3*LN(X))+D4*EXP(4*LN(X))+D5*EXP(5*LN(X)))+
      D6*EXP(6*LN(X))+D7*EXP(7*LN(X))+D8*EXP(8*LN(X)))-
VDA3*(GI+G1*EXP(1*LN(X))+G2*EXP(2*LN(X))+G3*EXP(3*LN(X))+G4*EXP(4*LN(X))+G5*EXP(5*LN(X)))+
      G6*EXP(6*LN(X))+G7*EXP(7*LN(X))+G8*EXP(8*LN(X));
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
HHO:=CO;HH1:=C1;HH2:=C2;HH3:=C3;HH4:=C4;HH5:=C5;HH6:=C6;HH7:=C7;HH8:=C8;

CLRSCR;
CO:=(100-(AHO*DI+ALO*EI+NHO*GI+NLO*HHO+PHO*FI))/PLO;
C1:=- (AHO*D1+ALO*E1+NHO*G1+NLO*HH1+PHO*F1)/PLO;
C2:=- (AHO*D2+ALO*E2+NHO*G2+NLO*HH2+PHO*F2)/PLO;
C3:=- (AHO*D3+ALO*E3+NHO*G3+NLO*HH3+PHO*F3)/PLO;
C4:=- (AHO*D4+ALO*E4+NHO*G4+NLO*HH4+PHO*F4)/PLO;
C5:=- (AHO*D5+ALO*E5+NHO*G5+NLO*HH5+PHO*F5)/PLO;
C6:=- (AHO*D6+ALO*E6+NHO*G6+NLO*HH6+PHO*F6)/PLO;
C7:=- (AHO*D7+ALO*E7+NHO*G7+NLO*HH7+PHO*F7)/PLO;
C8:=- (AHO*D8+ALO*E8+NHO*G8+NLO*HH8+PHO*F8)/PLO;
AUXIL6(CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8);
GOTOXY(10,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE AJUSTE SAO DADOS POR : ');
GOTOXY(5,20);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de arom. pesados em z / Conc. inicial de arom
pesados. ');
GOTOXY(5,21);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
(**GOTOXY(5,23);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');**)READ(VX);END.

```

```
PROGRAM SISTEMA; ( HDN E HDO EM REATOR TUBULAR )
```

```
USES CRT;
```

```
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KHDN,KHDO,CM,VL,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    BULK,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    N:INTEGER;
```

```
(** PRIMEIRA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
```

```
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;
FOR J:=1 TO 7 DO
```

```
BEGIN
```

```
A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];
```

```
END;
```

```
FOR J:=1 TO 7 DO
```

```
BEGIN
```

```
A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];
A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
```

```

B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
  B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
  A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
  B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
  A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
  B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
  A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
  B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
  A3[1,J]:=A2[1,J];
  B3[1]:=B2[1];
  A3[2,J]:=A2[2,J];
  B3[2]:=B2[2];
  A3[3,J]:=A2[3,J];
  B3[3]:=B2[3];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
  B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
  A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
  B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
  A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
  B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
  A4[1,J]:=A3[1,J];
  B4[1]:=B3[1];
  A4[2,J]:=A3[2,J];
  B4[2]:=B3[2];
  A4[3,J]:=A3[3,J];
  B4[3]:=B3[3];
  A4[4,J]:=A3[4,J];
  B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];
  A5[5,J]:=A4[5,J];
  B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO

```

BEGIN

A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];

B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];

A6[1,J]:=A5[1,J];

B6[1]:=B5[1];

A6[2,J]:=A5[2,J];

B6[2]:=B5[2];

A6[3,J]:=A5[3,J];

B6[3]:=B5[3];

A6[4,J]:=A5[4,J];

B6[4]:=B5[4];

A6[5,J]:=A5[5,J];

B6[5]:=B5[5];

A6[6,J]:=A5[6,J];

B6[6]:=B5[6];

END;

C7:=B6[7]/A6[7,7];

C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];

C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];

C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];

C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];

C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];

C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-A6[1,2]*C2)/A6[1,1];

CO:=1+C1/PE;

C8:=- (1/8) * (C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);

END;

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

PROCEDURE SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);

BEGIN

X:=PC1;

K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

K12:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K13:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K14:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K15:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K16:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K17:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

X:=PC2;

K21:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

K22:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K23:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K24:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K25:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K26:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);

K27:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

X:=PC3;
K31:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K32:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K33:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K34:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K35:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K36:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K37:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC4;
K41:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K42:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K43:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K44:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K45:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K46:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K47:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC5;
K51:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K52:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K53:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);

```

```

K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC1;P1:=DA;
X:=PC2;P2:=DA;
X:=PC3;P3:=DA;
X:=PC4;P4:=DA;
X:=PC5;P5:=DA;
X:=PC6;P6:=DA;
X:=PC7;P7:=DA;
END;

```

(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)

```

BEGIN
CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9;

GOTOXY(5,5);WRITELN('PROGRAMA PARA SIMULACAO DE HIDRODENITROGENACAO E ');
GOTOXY(5,6);WRITELN('HIDRODEOXIGENACAO DE PSEUDOCOMPONENTES :');
GOTOXY(5,10);WRITE('DIGITE DENSIDADE DO LEITO      Kg cat./ mü      :
');READ(BULK);
GOTOXY(5,11);WRITE('DIGITE COMPRIMENTO DO REATOR    m      : ');READ(CM);
GOTOXY(5,12);WRITE('DIGITE VELOCIDADE ESPACIAL      m / h      : ');READ(VL);
GOTOXY(5,13);WRITE('DIGITE NUMERO DE PECLET                          : ');READ(PE);
GOTOXY(5,14);WRITE('DIGITE CONSTANTE DE HDN      mü/(h Kg cat. ) :
');READ(KHDN);
GOTOXY(5,15);WRITE('DIGITE CONSTANTE DE HDO      mü/(h Kg cat. ) :
');READ(KHDO);
CLRSCR;

(** PROCESSO - 1 HDN **)
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE NITROGENADOS AO ' );
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : ');
DA:=BULK*KHDN*(CM/VL);
SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
GOTOXY(10,10);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,11);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,12);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,13);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,14);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,15);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,16);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,17);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,18);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
GOTOXY(5,21);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de nitrogenados em z / Conc. inicial de
nitrogenados. ');
GOTOXY(5,22);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
GOTOXY(5,24);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
READ(X);CLRSCR;

```

```

(** PROCESSO - 2 HDO **)
GOTOXY(5,5);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(5,6);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE OXIGENADOS AO ' );
GOTOXY(5,7);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : ');
DA:=BULK*KHDO*(CM/VL);
SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
      K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
      K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
      K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
GOTOXY(10,10);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,11);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,12);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,13);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,14);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,15);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,16);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,17);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,18);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
GOTOXY(5,21);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de oxigenados em z / Conc. inicial de
oxigenados. ');
GOTOXY(5,22);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
GOTOXY(5,24);WRITE('DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');
READ(X);CLRSCR;
END.

```

```

PROGRAM SISTEMA; ( HDM E HDS EM REATOR TUBULAR )
USES CRT;
VAR K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27:REAL;
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47:REAL;
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67:REAL;
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL;
    KMO,KSO,MO,SO,KL,AC,KHDM,KHDS,CM,VL,CO,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8:REAL;
    TEMPO,BULK,F,X,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PE,L,U,DA,KC:REAL;
    TETAM,KCCO,YY,FFX,CONCM,ALFA,CCO:REAL;
    AC2,DCAT,PY1,ETA,P,Q,TETA,FI,HU,HF,E:REAL;

    CTEM,CTE1,CTE2,CTE11,CTE22,QHDS,FIHDS,THFIHDM,THFIHDS:REAL;

    N:INTEGER;

(** PRIMEIRA FUNCAO **)

FUNCTION COSHFE(FI,E:REAL):REAL;
BEGIN
    COSHFE:=(EXP(FI*E)+EXP(-FI*E))/2
END;

(** SEGUNDA FUNCAO **)

FUNCTION COSHF(FI:REAL):REAL;
BEGIN
    COSHF:=(EXP(FI)+EXP(-FI))/2;
END;

(** TERCEIRA FUNCAO **)

FUNCTION SINHFE(FI,E:REAL):REAL;
BEGIN
    SINHFE:=(EXP(FI*E)-EXP(-FI*E))/2
END;

(** PRIMEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
    K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
    K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
    K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7:REAL);
VAR A:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A1:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B1:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A2:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B2:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A3:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B3:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A4:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B4:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A5:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B5:ARRAY[1..7] OF REAL;
    A6:ARRAY[1..7,1..7] OF REAL;B6:ARRAY[1..7] OF REAL;
    I,J:INTEGER;
BEGIN
    A[1,1]:=K11;A[1,2]:=K12;A[1,3]:=K13;A[1,4]:=K14;A[1,5]:=K15;A[1,6]:=K16;
    A[1,7]:=K17;A[2,1]:=K21;A[2,2]:=K22;A[2,3]:=K23;A[2,4]:=K24;A[2,5]:=K25;
    A[2,6]:=K26;A[2,7]:=K27;A[3,1]:=K31;A[3,2]:=K32;A[3,3]:=K33;A[3,4]:=K34;
    A[3,5]:=K35;A[3,6]:=K36;A[3,7]:=K37;A[4,1]:=K41;A[4,2]:=K42;A[4,3]:=K43;
    A[4,4]:=K44;A[4,5]:=K45;A[4,6]:=K46;A[4,7]:=K47;A[5,1]:=K51;A[5,2]:=K52;
    A[5,3]:=K53;A[5,4]:=K54;A[5,5]:=K55;A[5,6]:=K56;A[5,7]:=K57;A[6,1]:=K61;
    A[6,2]:=K62;A[6,3]:=K63;A[6,4]:=K64;A[6,5]:=K65;A[6,6]:=K66;A[6,7]:=K67;
    A[7,1]:=K71;A[7,2]:=K72;A[7,3]:=K73;A[7,4]:=K74;A[7,5]:=K75;A[7,6]:=K76;
    A[7,7]:=K77;B[1]:=P1;B[2]:=P2;B[3]:=P3;B[4]:=P4;B[5]:=P5;B[6]:=P6;B[7]:=P7;

```


FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A1[7,J]:=A[7,J]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+A[6,J];
B1[7]:=B[7]*(-1)*(A[6,1]/A[7,1])+B[6];
A1[6,J]:=A[6,J]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+A[5,J];
B1[6]:=B[6]*(-1)*(A[5,1]/A[6,1])+B[5];
A1[5,J]:=A[5,J]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+A[4,J];
B1[5]:=B[5]*(-1)*(A[4,1]/A[5,1])+B[4];
A1[4,J]:=A[4,J]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+A[3,J];
B1[4]:=B[4]*(-1)*(A[3,1]/A[4,1])+B[3];
A1[3,J]:=A[3,J]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+A[2,J];
B1[3]:=B[3]*(-1)*(A[2,1]/A[3,1])+B[2];
A1[2,J]:=A[2,J]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+A[1,J];
B1[2]:=B[2]*(-1)*(A[1,1]/A[2,1])+B[1];
A1[1,J]:=A[1,J];
B1[1]:=B[1];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A2[7,J]:=A1[7,J]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+A1[6,J];
B2[7]:=B1[7]*(-1)*(A1[6,2]/A1[7,2])+B1[6];
A2[6,J]:=A1[6,J]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+A1[5,J];
B2[6]:=B1[6]*(-1)*(A1[5,2]/A1[6,2])+B1[5];
A2[5,J]:=A1[5,J]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+A1[4,J];
B2[5]:=B1[5]*(-1)*(A1[4,2]/A1[5,2])+B1[4];
A2[4,J]:=A1[4,J]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+A1[3,J];
B2[4]:=B1[4]*(-1)*(A1[3,2]/A1[4,2])+B1[3];
A2[3,J]:=A1[3,J]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+A1[2,J];
B2[3]:=B1[3]*(-1)*(A1[2,2]/A1[3,2])+B1[2];
A2[1,J]:=A1[1,J];
B2[1]:=B1[1];
A2[2,J]:=A1[2,J];
B2[2]:=B1[2];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A3[7,J]:=A2[7,J]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+A2[6,J];
B3[7]:=B2[7]*(-1)*(A2[6,3]/A2[7,3])+B2[6];
A3[6,J]:=A2[6,J]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+A2[5,J];
B3[6]:=B2[6]*(-1)*(A2[5,3]/A2[6,3])+B2[5];
A3[5,J]:=A2[5,J]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+A2[4,J];
B3[5]:=B2[5]*(-1)*(A2[4,3]/A2[5,3])+B2[4];
A3[4,J]:=A2[4,J]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+A2[3,J];
B3[4]:=B2[4]*(-1)*(A2[3,3]/A2[4,3])+B2[3];
A3[1,J]:=A2[1,J];
B3[1]:=B2[1];
A3[2,J]:=A2[2,J];
B3[2]:=B2[2];
A3[3,J]:=A2[3,J];
B3[3]:=B2[3];

```

END;

FOR J:=1 TO 7 DO

BEGIN

```

A4[7,J]:=A3[7,J]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+A3[6,J];
B4[7]:=B3[7]*(-1)*(A3[6,4]/A3[7,4])+B3[6];
A4[6,J]:=A3[6,J]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+A3[5,J];
B4[6]:=B3[6]*(-1)*(A3[5,4]/A3[6,4])+B3[5];
A4[5,J]:=A3[5,J]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+A3[4,J];
B4[5]:=B3[5]*(-1)*(A3[4,4]/A3[5,4])+B3[4];
A4[1,J]:=A3[1,J];

```

```

B4[1]:=B3[1];
A4[2,J]:=A3[2,J];
B4[2]:=B3[2];
A4[3,J]:=A3[3,J];
B4[3]:=B3[3];
A4[4,J]:=A3[4,J];
B4[4]:=B3[4];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A5[7,J]:=A4[7,J]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+A4[6,J];
  B5[7]:=B4[7]*(-1)*(A4[6,5]/A4[7,5])+B4[6];
  A5[6,J]:=A4[6,J]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+A4[5,J];
  B5[6]:=B4[6]*(-1)*(A4[5,5]/A4[6,5])+B4[5];
  A5[1,J]:=A4[1,J];
  B5[1]:=B4[1];
  A5[2,J]:=A4[2,J];
  B5[2]:=B4[2];
  A5[3,J]:=A4[3,J];
  B5[3]:=B4[3];
  A5[4,J]:=A4[4,J];
  B5[4]:=B4[4];
  A5[5,J]:=A4[5,J];
  B5[5]:=B4[5];
END;
FOR J:=1 TO 7 DO
BEGIN
  A6[7,J]:=A5[7,J]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+A5[6,J];
  B6[7]:=B5[7]*(-1)*(A5[6,6]/A5[7,6])+B5[6];
  A6[1,J]:=A5[1,J];
  B6[1]:=B5[1];
  A6[2,J]:=A5[2,J];
  B6[2]:=B5[2];
  A6[3,J]:=A5[3,J];
  B6[3]:=B5[3];
  A6[4,J]:=A5[4,J];
  B6[4]:=B5[4];
  A6[5,J]:=A5[5,J];
  B6[5]:=B5[5];
  A6[6,J]:=A5[6,J];
  B6[6]:=B5[6];
END;
C7:=B6[7]/A6[7,7];
C6:=(B6[6]-A6[6,7]*C7)/A6[6,6];
C5:=(B6[5]-A6[5,7]*C7-A6[5,6]*C6)/A6[5,5];
C4:=(B6[4]-A6[4,7]*C7-A6[4,6]*C6-A6[4,5]*C5)/A6[4,4];
C3:=(B6[3]-A6[3,7]*C7-A6[3,6]*C6-A6[3,5]*C5-A6[3,4]*C4)/A6[3,3];
C2:=(B6[2]-A6[2,7]*C7-A6[2,6]*C6-A6[2,5]*C5-A6[2,4]*C4-A6[2,3]*C3)/A6[2,2];
C1:=(B6[1]-A6[1,7]*C7-A6[1,6]*C6-A6[1,5]*C5-A6[1,4]*C4-A6[1,3]*C3-
A6[1,2]*C2)/A6[1,1];
CO:=1+C1/PE;
C8:=- (1/8)*(C1+2*C2+3*C3+4*C4+5*C5+6*C6+7*C7);
END;

(** SEGUNDA PROCEDURE **)

PROCEDURE SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7:REAL);
BEGIN
  X:=PC1;
  K11:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);

```

[illegible]

```

K54:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K55:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K56:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K57:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC6;
K61:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K62:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K63:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K64:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K65:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K66:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K67:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC7;
K71:=(-7*EXP(6*LN(X))/PE-1+EXP(7*LN(X))+DA*EXP(8*LN(X))/8-X*DA-DA/PE);
K72:=(2/PE-14*EXP(6*LN(X))/PE-2*X+2*EXP(7*LN(X))-
EXP(2*LN(X))*DA+2*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K73:=(6*EXP(1*LN(X))/PE-21*EXP(6*LN(X))/PE-3*EXP(2*LN(X))+3*EXP(7*LN(X))-
EXP(3*LN(X))*DA+3*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K74:=(12*EXP(2*LN(X))/PE-28*EXP(6*LN(X))/PE-4*EXP(3*LN(X))+4*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(4*LN(X))+4*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K75:=(20*EXP(3*LN(X))/PE-35*EXP(6*LN(X))/PE-5*EXP(4*LN(X))+5*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(5*LN(X))+5*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K76:=(30*EXP(4*LN(X))/PE-42*EXP(6*LN(X))/PE-6*EXP(5*LN(X))+6*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(6*LN(X))+6*DA*EXP(8*LN(X))/8);
K77:=(42*EXP(5*LN(X))/PE-49*EXP(6*LN(X))/PE-7*EXP(6*LN(X))+7*EXP(7*LN(X))-
DA*EXP(7*LN(X))+7*DA*EXP(8*LN(X))/8);
X:=PC1;P1:=DA;
X:=PC2;P2:=DA;
X:=PC3;P3:=DA;
X:=PC4;P4:=DA;
X:=PC5;P5:=DA;
X:=PC6;P6:=DA;
X:=PC7;P7:=DA;
END;

```

(** TERCEIRA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE DADOS1;
BEGIN
  ALFA:=1E-2;FI:=2;Q:=0.95;      (** VER ORDEM DE ALFA **)
  P:=0.001;ETA:=0;E:=0;PY1:=(2/3)*(1-Q)/( SQR(COSHF(FI)) );
END;

```

(** QUARTA PROCEDURE **)

```

PROCEDURE CALCETA1(TETA,FI,Q,E,P:REAL);
VAR FSI,AC1:REAL;
BEGIN
  WHILE E<=1 DO
    BEGIN

```

```

PY1:=(2/3)*(1-Q)/( SQR(COSHF(FI)) );
HU:=COSHFE(FI,E)/COSH(FI)+TETA*(1-
COSHFE(FI,E)/COSH(FI))*((1/3)*(COSHFE(FI,E)/COSH(FI))*(1-4*Q)+PY1);
HF:=1-TETA*COSHFE(FI,E)/COSH(FI);
FSI:=HU*HF;
AC1:=FSI*P;
ETA:=ETA+AC1;
E:=E+P;

```

```
END;
```

```
END;
```

```
(** QUINTA PROCEDURE MODIFICADA **)
```

```
PROCEDURE CALCETA2(TETAM,TETA,FIHDS,QHDS,E,P:REAL);
```

```
VAR FSI,AC1:REAL;
```

```
BEGIN
```

```
  WHILE E<=1 DO
```

```
    BEGIN
```

```
      CTEM:=COSHFE(FIHDS,E)/COSH(FIHDS);
```

```
      HU:= CTEM+(CTE1*((SINHFE(FI,E)/COSH(FI))*(SINHFE(FIHDS,E)/COSH(FIHDS))-
COSHFE(FIHDS,E)/COSH(FIHDS)*THFIHDM*THFIHDS)+
```

```
      CTE2*( COSHFE(FIHDS,E)/COSH(FIHDS) ) * ( (COSHFE(FI,E)/COSH(FI)) - 1 )
    )*TETA;
```

```
      HF:=1-TETAM*COSHFE(FI,E)/COSH(FI);
```

```
      FSI:=HU*HF;
```

```
      AC1:=FSI*P;
```

```
      ETA:=ETA+AC1;
```

```
      E:=E+P;
```

```
    END;
```

```
END;
```

```
(** SEXTA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE DADOS2;
```

```
BEGIN
```

```
  ALFA:=1E-2;FIHDS:=2.0;QHDS:=0.95; (** VER ORDEM DE ALFA **)
```

```
  P:=0.001;ETA:=0;E:=0;
```

```
  CTE11:=FIHDS * ( 2*(2*QHDS-1)*SQR(FIHDS)-2*QHDS*SQR(FI) );
```

```
  CTE22:=FI * ( 4*SQR(FIHDS)-SQR(FI) );
```

```
  CTE1:=CTE11/CTE22;
```

```
  CTE2:=( SQR(FIHDS)*(2*QHDS+1) ) / (4*SQR(FIHDS)-SQR(FI) );
```

```
  THFIHDM:=( EXP(FI)-EXP(-FI) ) / ( EXP(FI)+EXP(-FI) );
```

```
  THFIHDS:=( EXP(FIHDS)-EXP(-FIHDS) ) / ( EXP(FIHDS)+EXP(-FIHDS) );
```

```
END;
```

```
(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)
```

```
BEGIN
```

```
  CLRSCR;TEXTCOLOR(2);
```

```
  PC1:=0.1;PC2:=0.2;PC3:=0.3;PC4:=0.5;PC5:=0.7;PC6:=0.8;PC7:=0.9;
```

```
  GOTOXY(1,5);WRITELN('PROGRAMA PARA SIMULACAO DE HIDRODEMOTALISACAO E
HIDRODESSULFURIZACAO ');
```

```
  GOTOXY(1,6);WRITELN('DE PSEUDOCOMPONENTES EM REATOR TUBULAR COM DISPERSAO AXIAL
:');
```

```
  GOTOXY(5,10);WRITE('DIGITE DENSIDADE DO LEITO NO REATOR      Kg cat./mü sol. :
');READ(BULK);
```

```

GOTOXY(5,11);WRITE('DIGITE COMPRIMENTO DO REATOR           m           :
');READ(CM);
GOTOXY(5,12);WRITE('DIGITE VELOCIDADE ESPACIAL             m / h           :
');READ(VL);
GOTOXY(5,13);WRITE('DIGITE NUMERO DE PECLET                 :
');READ(PE);
GOTOXY(5,14);WRITE('DIGITE CONSTANTE DA TAXA DE HDM         mü/(h Kg cat.) :
');READ(KHDM);
GOTOXY(5,15);WRITE('DIGITE CONSTANTE DA TAXA DE HDS         mü/(h Kg cat.) :
');READ(KHDS);
GOTOXY(5,16);WRITE('DIGITE FATOR DE TRANFERENCIA DE MASSA   m/h           :
');READ(KL);
GOTOXY(5,17);WRITE('DIGITE AREA VOLUMETRICA DO CATALIZADOR mü/(h Kg cat.) :
');READ(AC);
GOTOXY(5,18);WRITE('DIGITE TEMPO DE ANDAMENTO              h           :
');READ(TEMPO);
GOTOXY(5,19);WRITE('DIGITE CONC. INICIAL DE ORGANOMETALICOS M           :
');READ(MO);KMO:=MO;
GOTOXY(5,20);WRITE('DIGITE CONC. INICIAL DE SULFURADOS      M           :
');READ(SO);KSO:=SO;
CLRSCR;

```

(** CALCULO DE HDM **)

```

CLRSCR;
KCCO:=0;CCO:=0;YY:=1000;
WHILE ABS(YY-KCCO)>0.01 DO
BEGIN
  GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DEMETALIZACAO... ');
  DADOS1;MO:=KMO;
  TETA:=ALFA*CCO*TEMPO;
  CALCETA1(TETA,FI,Q,E,P);
  DA:=(CM/VL)*KL*AC*BULK*(1-(KL*AC)/(ETA*KHDM+KL*AC));
  SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
  SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
  AC2:=0;CONCM:=0;X:=0;
  WHILE X<=1 DO
  BEGIN
    FFX:=CO+C1*X+C2*X*X+C3*X*X*X+C4*X*X*X*X+C5*X*X*X*X*X+C6*X*X*X*X*X*X+
C7*X*X*X*X*X*X*X+C8*X*X*X*X*X*X*X*X;
    AC2:=FFX*P;
    CONCM:=CONCM+AC2;
    X:=X+P;
  END;
  YY:=CONCM*MO;
  KCCO:=CCO;
  CCO:=YY;
END;
TEXTCOLOR(0);GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DEMETALIZACAO... ');TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(10,5);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,6);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,7);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,8);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,9);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,13);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
GOTOXY(1,15);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA ENCONTRADA NO SISTEMA = ',MO*CONCM:6:4);

```

```

GOTOXY(1,16);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE = ',CCO:6:4);
GOTOXY(1,17);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
GOTOXY(1,1);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(1,2);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE ORGANOMETALICOS AO '
);
GOTOXY(1,3);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : ');
GOTOXY(1,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de organometalicos em z / Conc. inicial
de organometalicos. ');
GOTOXY(1,20);WRITELN('      x = Coordenada axial / Comprimento do reator
');
GOTOXY(1,22);WRITE('DIGITE UM NUMERO : ');READ(X);CLRSCR;

(** CALCULO DE HDS **)

CLRSCR;
TETAM:=TETA;
KCCO:=0;CCO:=0;YY:=1000;
WHILE ABS(YY-KCCO)>0.01 DO
BEGIN
  GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DESSULFURIZACAO... ');
  DADOS2;SO:=KSO;
  TETA:=ALFA*CCO*TEMPO;
  CALCETA2(TETAM,TETA,FIHDS,QHDS,E,P);
  DA:=(CM/VL)*KL*AC*BULK*(1-(KL*AC)/(ETA*KHDS+KL*AC));
  SIST2(PE,DA,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7);
  SIST(K11,K12,K13,K14,K15,K16,K17,K21,K22,K23,K24,K25,K26,K27,
K31,K32,K33,K34,K35,K36,K37,K41,K42,K43,K44,K45,K46,K47,
K51,K52,K53,K54,K55,K56,K57,K61,K62,K63,K64,K65,K66,K67,
K71,K72,K73,K74,K75,K76,K77,P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7);
  AC2:=0;CONCM:=0;X:=0;
  WHILE X<=1 DO
  BEGIN
    FFX:=CO+C1*X+C2*X*X+C3*X*X*X+C4*X*X*X*X+C5*X*X*X*X*X+C6*X*X*X*X*X*X+
C7*X*X*X*X*X*X*X+C8*X*X*X*X*X*X*X*X;
    AC2:=FFX*P;
    CONCM:=CONCM+AC2;
    X:=X+P;
  END;
  YY:=CONCM*SO;
  KCCO:=CCO;
  CCO:=YY;
END;
TEXTCOLOR(0);GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DESSULFURIZACAO... ');TEXTCOLOR(2);
GOTOXY(10,5);WRITELN('AO = ',CO:6:4);GOTOXY(10,6);WRITELN('A1 = ',C1:6:4);
GOTOXY(10,7);WRITELN('A2 = ',C2:6:4);GOTOXY(10,8);WRITELN('A3 = ',C3:6:4);
GOTOXY(10,9);WRITELN('A4 = ',C4:6:4);GOTOXY(10,10);WRITELN('A5 = ',C5:6:4);
GOTOXY(10,11);WRITELN('A6 = ',C6:6:4);GOTOXY(10,12);WRITELN('A7 = ',C7:6:4);
GOTOXY(10,13);WRITELN('A8 = ',C8:6:4);
GOTOXY(1,15);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA ENCONTRADA NO SISTEMA = ',SO*CONCM:6:4);
GOTOXY(1,16);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE = ',CCO:6:4);
GOTOXY(1,17);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
GOTOXY(1,1);WRITELN('OS COEFICIENTES DO POLINOMIO DE OITAVO GRAU QUE DESCREVEM '
);
GOTOXY(1,2);WRITELN('O COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO DE SULFURADOS AO ');
GOTOXY(1,3);WRITELN('LONGO DO REATOR TUBULAR SAO DADOS POR : ');

```

```
GOTOXY(1,19);WRITELN('ONDE P(x) = Conc. de sulfurados em z / Conc. inicial de  
sulfurados.');
```

$x = \text{Coordenada axial} / \text{Comprimento do reator}$

```
' );  
GOTOXY(1,22);WRITE('DIGITE UM NUMERO : ');READ(X);CLRSCR;  
  
END.
```



```

PROGRAM TCSTR; (** PROGRAMA PARA SIMULACAO DE UMA REDE DE CRAQUEAMENTO EM CSTR **)
USES CRT;
VAR
  K0,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,KKNF:REAL;
  KAH0,KALO,KNHO,KNLO,KPHO,KPLO,AH0,ALO,NH0,NLO,PH0,PL0,AH,AL,NH,NL,PH,PL:REAL;
  VT,KKVT,KKF,KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,V,F,NF,N:REAL;
  I:INTEGER;

PROCEDURE APR;
BEGIN
  TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(5,2);WRITELN('PROGRAMA PARA CALCULO DO COMPORTAMENTO DA CONCENTRACAO
PSEUDOCOMPONENTES');
  GOTOXY(5,3);WRITELN('LEVES NA REDE DE HIDROCRAQUEAMENTO EM UMA SERIE DE CSTRs.
DIGITE DADOS : ');
  GOTOXY(1,10);WRITELN('-- CONSIDERAR REDE DE HIDROCONVERSAO ANTERIOR --');
  TEXTCOLOR(3);
  GOTOXY(1,5);WRITE('  _____ AROMATICOS PESADOS -----> AROMATICOS LEVES  ');
  );
  GOTOXY(1,6);WRITE('  |                                     K2                                     |  ');
  );
  GOTOXY(1,7);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,8);WRITE('  |      K1      |             | _____ |             |      K9      |  ');
  );
  GOTOXY(1,9);WRITE('  |             |             |      K5      |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,10);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,11);WRITE('  |                                     K6                                     |  ');
  );
  GOTOXY(1,12);WRITE('  |      NAFTENICOS PESADOS -----> NAFTENICOS LEVES      |  ');
  );
  GOTOXY(1,13);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,14);WRITE('  |             |             |      K7      |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,15);WRITE('  |             | _____ |             |      K10      |  ');
  );
  GOTOXY(1,16);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,17);WRITE('  |      K3      |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,18);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,19);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,20);WRITE('  |-->  PARAFINAS PESADAS ----->  PARAFINAS LEVES  ');
  );
  GOTOXY(1,21);WRITE('  |             |             |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,22);WRITE('  |             |      K4      |             |             |             |             |  ');
  );
  GOTOXY(1,23);WRITE('  | _____ |             |             |             |             |             |  ');
  );
  TEXTCOLOR(5);
  GOTOXY(57,6);WRITE('K1 (1/h)  : ');READLN(KK1);
  GOTOXY(57,7);WRITE('K2 (1/h)  : ');READLN(KK2);
  GOTOXY(57,8);WRITE('K3 (1/h)  : ');READLN(KK3);

```

```

GOTOXY(57,9);WRITE('K4 (1/h) : ');READLN(KK4);
GOTOXY(57,10);WRITE('K5 (1/h) : ');READLN(KK5);
GOTOXY(57,11);WRITE('K6 (1/h) : ');READLN(KK6);
GOTOXY(57,12);WRITE('K7 (1/h) : ');READLN(KK7);
GOTOXY(57,13);WRITE('K8 (1/h) : ');READLN(KK8);
GOTOXY(57,14);WRITE('K9 (1/h) : ');READLN(KK9);
GOTOXY(57,15);WRITE('K10 (1/h) : ');READLN(KK10);
GOTOXY(57,16);WRITE('VOLUME (mü) : ');READLN(KKVT);
GOTOXY(57,17);WRITE('FLUXO (mü/h) : ');READLN(KKF);
GOTOXY(57,19);WRITE('Arom.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KAHO);
GOTOXY(57,20);WRITE('Arom.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KALO);
GOTOXY(57,21);WRITE('Naft.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KNHO);
GOTOXY(57,22);WRITE('Naft.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KNLO);
GOTOXY(57,23);WRITE('Parf.Pes.Inic.( M ) : ');READLN(KPHO);
GOTOXY(57,24);WRITE('Parf.Lev.Inic.( M ) : ');READLN(KPLO);
GOTOXY(57,25);WRITE('Nø CSTR s : ');READLN(KKNF);
END;

```

PROCEDURE

```

DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KKF,KKV,KAHO,KALO,KNHO,KNLO,KPHO,
KPLO,KKNF:REAL);

```

```

BEGIN

```

```

K1:=KK1;K2:=KK2;K3:=KK3;K4:=KK4;K5:=KK5;K6:=KK6;K7:=KK7;K8:=KK8;NL0:=KNLO;PL0:=K
PLO;

```

```

K9:=KK9;K10:=KK10;AH0:=KAHO;AL0:=KALO;NH0:=KNHO;PH0:=KPHO;F:=KKF;VT:=KKVT;NF:=KK
NF;

```

```

END;

```

```

BEGIN

```

```

CLRSCR;

```

```

APR;

```

```

DADOS(KK1,KK2,KK3,KK4,KK5,KK6,KK7,KK8,KK9,KK10,KKF,KKVT,KAHO,KALO,KNHO,KNLO,KPHO
,KPLO,KKNF);

```

```

CLRSCR;

```

```

V:=VT/NF;          (** VOLUME DE MASSA REACIONAL EM CADA CSTR          **)

```

```

TEXTCOLOR(2);

```

```

GOTOXY(1,3);WRITELN('          N          AH          AL          NH          NL
PH          PL');

```

```

I:=5;N:=0;

```

```

WHILE N<=NF DO

```

```

BEGIN

```

```

IF I>23 THEN

```

```

BEGIN

```

```

CLRSCR;

```

```

I:=5;

```

```

GOTOXY(1,3);WRITELN('          N          AH          AL          NH          NL          PH
PL');

```

```

END;

```

```

GOTOXY(1,I);WRITE('          ',N:2,'          ',AH0:5:2,'          ',AL0:5:2,'          ',NH0:5:2,'
',NL0:5:2,'          ',PH0:5:2,'          ',PL0:5:2);
DELAY(100);

```

```

(** CALCULO DAS CONCENTRACOES NO CSTR INDICADO          **)

```

```

AH:=F*AH0/(F+V*(K1+K2+K3+K4+K5));

```

```

AL:=(F*AL0+V*K2*AH)/(F+V*K9);
NH:=(F*NH0+V*K1*AH)/(V*(K6+K7)+F);
PH:=(F*PH0+V*K3*AH)/(V*K8+F);
NL:=(F*NL0+V*K5*AH+V*K6*NH+V*K9*AL)/(V*K10+F);
PL:=100-AH-NH-PH-AL-NL;

```

(** FAZENDO A COMPOSICAO INICIAL DO PROXIMO CSTR IGUAL A COMPOSICAO FINAL DO ANTERIOR **)

```

AH0:=AH;
AL0:=AL;
NH0:=NH;
NL0:=NL;
PH0:=PH;
PL0:=PL;

```

```

I:=I+1;

```

(** MUDANDO DE CSTR

**)

```

N:=N+1;
END;
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;
END.

```

```

PROGRAM TCSTR; ( HDN E HDO EM CSTR'S )
USES CRT;
VAR
  WT, NT0, OX0, NT, OX, KHDN, KHDO, W, F: REAL;
  NF, N, I: INTEGER;

BEGIN
  CLRSCR;
  TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(1,5); WRITELN('PROGRAMA PARA SIMULACAO DE HIDRODENITROGENACAO E ');
  GOTOXY(1,6); WRITELN('HIDRODEOXIGENACAO DE PSEUDOCOMPONENTES EM SERIE DE CSTR s
: ');
  GOTOXY(1,11); WRITE('DIGITE MASSA DE TOTAL DE CATALIZADOR           Kg cat.
: '); READ(WT);
  GOTOXY(1,12); WRITE('DIGITE NUMERO DE CSTR s
: '); READ(NF);
  GOTOXY(1,13); WRITE('DIGITE FUXO NO SISTEMA                           mü/h
: '); READ(F);
  GOTOXY(1,14); WRITE('DIGITE CONSTANTE DE HDN                         mü/(h Kg cat. )
: '); READ(KHDN);
  GOTOXY(1,15); WRITE('DIGITE CONSTANTE DE HDO                         mü/(h Kg cat. )
: '); READ(KHDO);
  GOTOXY(1,16); WRITE('DIGITE CONCENTRACAO INICIAL DE NITROGENADOS M
: '); READ(NT0);
  GOTOXY(1,17); WRITE('DIGITE CONCENTRACAO INICIAL DE OXIGENADOS      M
: '); READ(OX0);
  CLRSCR;

  TEXTCOLOR(2);
  GOTOXY(1,3); WRITELN('      N      NITROGENADOS      OXIGENADOS');

  W:=WT/NF;
  I:=5; N:=0;
  WHILE N<=NF DO
  BEGIN
    IF I>23 THEN
    BEGIN
      CLRSCR;
      I:=5;
      GOTOXY(1,3); WRITELN('      N      NITROGENADOS      OXIGENADOS');
    END;

    GOTOXY(1,I); WRITE('      ', N:2, '      ', NT0:5:2, '      ', OX0:5:2, '
');

    DELAY(100);

    (** CALCULO DAS CONCENTRACOES NO CSTR INDICADO ** )

    NT:=F*NT0/(F+W*KHDN);
    OX:=F*OX0/(F+W*KHDO);

    (** FAZENDO A COMPOSICAO INICIAL DO PROXIMO CSTR IGUAL A COMPOSICAO FINAL DO
    ANTERIOR **)

    NT0:=NT;
    OX0:=OX;

    I:=I+1;

```

(** MUDANDO DE CSTR

**)

N:=N+1;

END;

REPEAT UNTIL KEYPRESSED;

END.

```

PROGRAM DESSUF;
USES CRT;
VAR CCO,ALFA,F,W,NF,CM,CMO,KHDM,KHDS,KL,AC,PY1,ETA,P,Q,TETA:REAL;
    VX,KCSO,TETAM,CS,CSO,KCCO,V,KCMO,DCAT,TEMPO,FI,YY,HU,HF,E:REAL;
    VTT,SOMA,SOMA2:REAL;
    N,I:INTEGER;

(** PRIMEIRA FUNCAO **)

FUNCTION COSHFE(FI,E:REAL):REAL;
BEGIN
    COSHFE:=(EXP(FI*E)+EXP(-FI*E))/2;
END;

(** SEGUNDA FUNCAO **)

FUNCTION COSHF(FI:REAL):REAL;
BEGIN
    COSHF:=(EXP(FI)+EXP(-FI))/2;
END;

(** PRIMEIRA PROCEDURE **)

PROCEDURE CALCETA(TETA,FI,Q,E,P:REAL);
VAR FSI,AC1:REAL;
BEGIN
    WHILE E<=1 DO
    BEGIN
        PY1:=(2/3)*(1-Q)/(SQR(COSHF(FI)));
        HU:=COSHFE(FI,E)/COSHF(FI)+TETA*(1-
COSHFE(FI,E)/COSHF(FI))*((1/3)*(COSHFE(FI,E)/COSHF(FI))*(1-4*Q)+PY1);
        HF:=1-TETA*COSHFE(FI,E)/COSHF(FI);
        FSI:=HU*HF;
        AC1:=FSI*P;
        ETA:=ETA+AC1;
        E:=E+P;
    END;
END;

(** SEGUNDA PROCEDURE - HDS **)

PROCEDURE CALCETA2(TETAM,TETA,FIHDS,QHDS,E,P:REAL);
VAR FSI,AC1:REAL;
BEGIN
    WHILE E<=1 DO
    BEGIN
        CTEM:=COSHFE(FIHDS,E)/COSHF(FIHDS);
        HU:=CTEM+(CTE1*((SINHFE(FI,E)/COSHF(FI))*(SINHFE(FIHDS,E)/COSHF(FIHDS))-
COSHFE(FIHDS,E)/COSHF(FIHDS)*THFIHDM*THFIHDS)+
        CTE2*(COSHFE(FIHDS,E)/COSHF(FIHDS))*((COSHFE(FI,E)/COSHF(FI))-1.))
        )*TETA;

        HF:=1-TETAM*COSHFE(FI,E)/COSHF(FI);
        FSI:=HU*HF;
        AC1:=FSI*P;
        ETA:=ETA+AC1;
        E:=E+P;
    END;
END;

```

```
(** TERCEIRA PROCEDURE **)
```

```
PROCEDURE DADOS1;
BEGIN
ALFA:=1E-2;FI:=2;Q:=0.95;P:=0.01;ETA:=0;E:=0;PY1:=(2/3)*(1-Q)/( SQR(COSHF(FI))
);
CM:=0;N:=0;SOMA:=0;                (** VER ORDEM DE ALFA **)
END;
```

```
(** QUARTA PROCEDURE - HDS **)
```

```
PROCEDURE DADOS2;
BEGIN
ALFA:=1E-2;FI:=0.5;Q:=1.95;P:=0.01;ETA:=0;E:=0;PY1:=(2/3)*(1-Q)/( SQR(COSHF(FI))
);
CS:=0;N:=0;SOMA:=0;                (** VER ORDEM DE ALFA **)
END;
```

```
(** INICIO DO PROGRAMA PRINCIPAL **)
```

```
BEGIN
CLRSCR;
TEXTCOLOR(2);
CLRSCR;
GOTOXY(5,5);WRITELN('PROGRAMA PARA SIMULACAO DE HIDRODEMOTALISACAO E ');
GOTOXY(5,6);WRITELN('HIDRODESULFURIZACAO DE PSEUDOCOMPONENTES EM SERIE DE CSTR s
: ');
GOTOXY(5,11);WRITE('DIGITE DENSIDADE DO LEITO   EM CADA CSTR      Kg cat./mü      :
');READ(DCAT);
GOTOXY(5,12);WRITE('DIGITE NUMERO DE CSTR s
: ');READ(NF);
GOTOXY(5,13);WRITE('DIGITE FUXO NO SISTEMA                        mü/h      :
');READ(F);
GOTOXY(5,14);WRITE('DIGITE AREA VOLUMETRICA DO CATALIZADOR      mý/mü      :
');READ(AC);
GOTOXY(5,15);WRITE('DIGITE FATOR DE TRANFERENCIA DE MASSA      m/h      :
');READ(KL);
GOTOXY(5,16);WRITE('DIGITE TEMPO DE CORRIDA DO PROCESSO      h      :
');READ(TEMPO);
GOTOXY(5,17);WRITE('DIGITE VOLUME TOTAL DO SISTEMA      mü
: ');READ(VTT);
GOTOXY(5,18);WRITE('DIGITE CONCENTRACAO INICIAL DE METALICOS      M      :
');READ(CMO);KCMO:=CMO;
GOTOXY(5,19);WRITE('DIGITE CONSTANTE DA TAXA DE HDM      mü/(h Kg cat.) :
');READ(KHDM);
GOTOXY(5,20);WRITE('DIGITE CONSTANTE DA TAXA DE HDS      mü/(h Kg cat.) :
');READ(KHDS);
GOTOXY(5,21);WRITE('DIGITE CONCENTRACAO INICIAL DE SULFURADOS      M      :
');READ(CSO);KCSO:=CSO;

CLRSCR;
V:=VTT/NF;
KCCO:=0;CCO:=0;YY:=1000;
WHILE ABS(YY-KCCO)>0.01 DO
BEGIN
GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DEMETALIZACAO... ');
DADOS1;CMO:=KCMO;
TETA:=ALFA*CCO*TEMPO;
```

```

CALCETA(TETA, FI, Q, E, P);
WHILE N<=NF DO
BEGIN
  SOMA:=SOMA+CM;
  CM:=( (F/V) / ( KL*AC*DCAT* (1-(KL*AC)/(ETA*KHDM+KL*AC))+(F/V) ) ) *CMO;
  CMO:=CM;
  N:=N+1;
END;
YY:=SOMA/NF;
KCCO:=CCO;
CCO:=YY;
END;
TEXTCOLOR(0);
WRITELN;WRITELN;WRITELN;GOTOXY(5,10);GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO
EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA DEMETALIZACAO... ');
TEXTCOLOR(2);
(** **)
CLRSCR;
GOTOXY(5,20);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA OBTIDA DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA =
',YY:6:4);
GOTOXY(5,21);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE= ',CCO:6:4);
GOTOXY(5,22);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
CMO:=KCMO;I:=5;N:=0;
WHILE N<=NF DO
BEGIN
  GOTOXY(1,3);WRITELN('      N      ORGANOMETALICOS');
  IF I>16 THEN
  BEGIN
    CLRSCR;
    GOTOXY(5,20);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA OBTIDA DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA =
',YY:6:4);
    GOTOXY(5,21);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE= ',CCO:6:4);
    GOTOXY(5,22);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
    I:=5;
    GOTOXY(1,3);WRITELN('      N      ORGANOMETALICOS');
  END;
  GOTOXY(1,I);WRITE('      ',N:2,'      ',CMO:5:2);
  DELAY(300);
  CM:=( (F/V) / ( KL*AC*DCAT* (1-(KL*AC)/(ETA*KHDM+KL*AC))+(F/V) ) ) *CMO;
  CMO:=CM;
  I:=I+1;
  N:=N+1;
END;
GOTOXY(5,24);WRITE(' DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');READ(VX);
(** **)

(** PARTE DA DESSULFURIZACAO **)

CLRSCR;
TETAM:=TETA;
KCCO:=0;CCO:=0;YY:=1000;
WHILE ABS(YY-KCCO)>0.01 DO
BEGIN
  GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA
DESSULFURIZACAO... ');
  DADOS2;CSO:=KCSO;
  TETA:=ALFA*CCO*TEMPO;
  CALCETA2(TETAM,TETA,FI,Q,E,P);

```



```

WHILE N<=NF DO
BEGIN
  SOMA:=SOMA+CS;
  CS:=( (F/V) / ( KL*AC*DCAT* (1-(KL*AC)/(ETA*KHDS+KL*AC))+(F/V) ) ) *CSO;
  CSO:=CS;
  N:=N+1;
END;
YY:=SOMA/NF;
KCCO:=CCO;
CCO:=YY;
END;
TEXTCOLOR(0);
WRITELN;WRITELN;WRITELN;GOTOXY(5,10);GOTOXY(5,10);WRITELN('CALCULANDO
EFETIVIDADE DO CATALISADOR PARA DESSULFURIZACAO... ');
TEXTCOLOR(2);
(** **)
CLRSCR;
GOTOXY(5,20);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA OBTIDA DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA =
',YY:6:4);
GOTOXY(5,21);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE= ',CCO:6:4);
GOTOXY(5,22);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
CSO:=KCSO;I:=5;N:=0;
WHILE N<=NF DO
BEGIN
  GOTOXY(1,3);WRITELN('      N      SULFURADOS');
  IF I>16 THEN
  BEGIN
    CLRSCR;
    GOTOXY(5,20);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA OBTIDA DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA =
',YY:6:4);
    GOTOXY(5,21);WRITE('CONCENTRACAO MEDIA CHUTADA INICIALMENTE PARA CALCULO DA
EFETIVIDADE= ',CCO:6:4);
    GOTOXY(5,22);WRITE('EFETIVIDADE = ',ETA:6:4);
    I:=5;
    GOTOXY(1,3);WRITELN('      N      SULFURADOS');
  END;
  GOTOXY(1,I);WRITE('      ',N:2,'      ',CSO:5:2);
  DELAY(300);
  CS:=( (F/V) / ( KL*AC*DCAT* (1-(KL*AC)/(ETA*KHDS+KL*AC))+(F/V) ) ) *CSO;
  CSO:=CS;
  I:=I+1;
  N:=N+1;
END;
GOTOXY(5,24);WRITE(' DIGITE UM NUMERO PARA SAIR : ');READ(VX);
(** **)
END.

```